

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B 2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Vliv různých typů ochranných plynů na tvar svarové lázně při svařování metodou MIG

The influence of different types of protective gases on shape of the weld pool at MIG welding.

Riedl Ladislav
KSP – SM – B37

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 85
Počet tabulek: 20
Počet obrázků: 82
Počet příloh: 1

Datum: 6. 1. 2012

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Student: Ladislav Riedl
Téma práce: Vliv různých typů ochranných plynů na tvar svarové lázně při svařování metodou MIG.

The influence of different types of protective gases on shape of the weld pool at MIG welding.

Číslo BP: KSP – SM – B37
Vedoucí BP: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Abstrakt:

Tato bakalářská práce řeší vliv různých ochranných plynů na tvar svarové lázně při svařování metodou MIG. Práce je rozdělena do dvou částí teoretické a experimentální. Teoretická část obsahuje princip obloukového svařování, zaměřující se na metodu MIG. Dále jsou zde popsány různé vlivy svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MIG. Cílem experimentální části bylo zjistit a posoudit vliv různých ochranných plynů na tvar svarové lázně, konkrétně ochranného plynu **Inomaxx® Plus** a následně tyto poznatky vyhodnotit a posoudit s experimenty provedenými s ochrannými plyny **Inomaxx®2** a **Euromix M13**. Na základě dřívějších poznatků získaných z jiných prací zaměřujících se na vliv ochranných plynů na tvar svarové lázně byl sestaven plán experimentů. Následné poznatky získané o svarové geometrii experimentálních svarů byly rozměrově a graficky vyhodnoceny a následně porovnány. Takto získané poznatky jsou cílem této bakalářské práce.

Abstrakt:

This bachelor thesis solves the influence of different protective gases on shape of the weld pool the MIG method. The bachelor thesis is divided into two parts of the theoretical and experimental. The theoretical part contains the principle of arc welding focusing on the method of the MIG. Furthermore there are various effects of welding parameters on the geometry of the weld pool during welding by MIG. The aim of the experimental part was to identify and assess the impact of the various protective gases in the shape of the weld pool namely the protection of gas **Inomaxx ® Plus** and subsequently these findings to evaluate and assess the experiments carried out with protective gases **Inomaxx ® 2 and Euromix M13**. On the basis of previous knowledge gained from other work focusing on the influence of protective gas in the shape of the weld pool plan was drawn up experiments. The subsequent knowledge gained about the weld geometry of experimental welds have been dimensionally and graphically evaluated and subsequently compared. The knowledge thus obtained are the aim of this Bachelor thesis.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 6. 1. 2012

.....

Riedl Ladislav
Klášter nad Jizerou 110
295 01 Mnichovo Hradiště

Poděkování

Mé hlavní poděkování patří Ing. Jaromíru Moravcovi, Ph.D. za jeho trpělivost, odborné vedení, připomínky, cenné rady při zpracování bakalářské práce a za čas, který mi věnoval při konzultacích.

OBSAH

1.	ÚVOD	9
2.	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1.	Elektrický oblouk	10
2.1.1	Síly působící na kapku kovu z odtavující se elektrody.	12
2.1.2	Statická charakteristika svařovacího zdroje	13
2.2.	Teoretické základy metody MIG.....	15
2.2.1	Charakteristika a rozsah použití svařovací metody MIG	16
2.2.2	Svařovací hořáky	17
2.2.3	Podavače drátů	17
2.2.4	Způsoby přenosu kovu v oblouku	18
2.3.	Parametry svařování ovlivňující geometrii svarové lázně	20
2.3.1.	Vliv velikosti svařovacího proudu	21
2.3.2.	Vliv svařovacího napětí.....	21
2.3.3.	Vliv průměru svařovacího drátu.....	22
2.3.4.	Výlet elektrody	23
2.3.5.	Vliv rychlosti svařování	23
2.4.	Ochranné plyny a jejich vliv na geometrii svaru.....	24
2.5.	Systém Weld Monitor	26
2.5.1.	Weld Monitor hardware	26
2.5.2.	Weld Monitor software	27
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
3.1.	Cíle experimentální části	29
3.2.	Zařízení potřebná pro úspěšné splnění cílů experimentální části.....	30
3.3.	Postup experimentu	33
3.3.1.	Příprava vzorku	33
3.3.2.	Svaření vzorků podle plánu experimentu.....	34
3.3.2.1.	Přídavný materiál	35
3.3.3.	Monitorování svařovacích parametrů.....	35
3.4.	Metalografické zpracování a geometrické vyhodnocení svarové lázně.....	39
3.4.1.	Geometrické vyhodnocení svarové lázně.....	41
3.4.2.	Příklad postupu při vyhodnocování vzorku X4c025.....	42
3.5.	Geometrické vyhodnocení svařených vzorků	46
3.6.	Porovnání výsledků dosažených s různými typy ochranných plynů.....	53
4.	ZÁVĚR.....	58
5.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
6.	PŘÍLOHA.....	61
6.1.	Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 13,1 m/min.	61
6.2.	Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 11 m/min.	66
6.3.	Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 9,9 m/min.	73
6.4.	Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 8,9 m/min.	80

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

b, c	- odvěsny svaru	[mm]
b_{\max}	- celková velikost odvěsny svaru	[mm]
d	- průměr elektrody	[mm]
e	- výška svaru	[mm]
f	- posuv drátu	[m/min]
F_g	- gravitační síla	[N]
g	- gravitační zrychlení	[m/s ²]
I	- svařovací proud	[A]
L	- celková délka svarové lázně	[mm]
MAG, MIG	- svařování drátem v ochranných atmosférách	
p	- převýšení svaru	[mm]
P_c	- celková plocha svaru	[mm ²]
P_{Δ}	- nosná plocha svaru	[mm ²]
P_n	- plocha návaru	[mm ²]
P_q	- tepelný příkon	[kJ/mm]
Q	- vnesené teplo	[kJ]
R_k	- poloměr kapky kovu	[m]
s	- spotřeba drátu	[m]
t	- čas	[s]
U	- svařovací napětí	[V]
v	- rychlost svařování	[m/min]
v_{\max}	- nosná velikost svaru	[mm]
x	- šířka závaru	[mm]
x_{\max}	- skutečná šířka závaru	[mm]
y	- šířka řezu	[mm]
w	- šířka housenky	[mm]
z	- velikost závaru	[mm]
z_{\max}	- skutečný závar	[mm]
α	- úhel	[°]
β_1	- úhel	[°]
β_2	- úhel	[°]
ρ	- hustota	[kg/m ³]
π	- Ludolfovo číslo	[-]

1. ÚVOD

Počátky obloukového svařování sahají do poloviny 19. století, kdy byl poprvé, ve Velké Británii, objeven a následně patentován elektrický oblouk. Hlavním problémem tehdy byla ochrana svarové lázně proti negativním účinkům okolní atmosféry. K rychlému vývoji v oblasti svařování v ochranných atmosférách došlo v USA po roce 1927, nicméně technické zázemí a prostředky potřebné k zavedení do technické praxe nebyly v té době ještě tolik rozvinuty a proto docházelo jen k okrajovému využití v praxi. Četný a významný rozvoj těchto metod se datuje až od konce druhé světové války. Do té doby byla kvalita prováděných svarových spojů různorodá a poměrně nedostatečná. [15]

V dnešní době jsou metody svařování v ochranných atmosférách dominantně využívány v celém odvětví průmyslu. Zejména v Japonsku zažívají velký rozmach. Jejich využití je především tam, kde je kladen důraz na operativnost, rychlost svařování, výkon tavení, dostupnost a ovladatelnost. Jsou to metody vyznačující se dobrou automatizací, jsou levné, produktivní a vzniklé svary mají velmi dobré kvalitativní vlastnosti.

Metoda MIG patří do skupiny svařování v inertní atmosféře ochranného plynu, a to zejména argonu. Jako zdroj tepla se využívá elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a základním materiálem. Ochranný plyn plní účel ochrany svarové lázně, konce elektrody a části základního materiálu. Jako přídatný materiál se používají drátové nebo trubičkové elektrody, které mají vhodný průměr a chemické složení. Výslednou geometrii svarové lázně ovlivňuje mnoho činitelů, a to zejména druh inertní ochranné atmosféry, průměr přídatného drátu, velikost napětí a svařovacího proudu, výlet elektrody, polarita, rychlost svařování, ruční nebo automatizované svařování atd.

Metoda svařování taví se elektrodou v inertním plynu se neustále vyvíjí a zdokonaluje, a to zejména díky technickému pokroku v oblasti elektronického řízení procesu svařování a modulace pulzů. Mimo to jsou zdokonalovány a vyvíjeny i nové typy přídatných drátů a ochranných plynů. To ale zároveň znamená, že si i technická veřejnost musí neustále zdokonalovat svoje vědomosti, aby byla schopna se tomuto trendu přizpůsobit. Podle mého názoru bude do budoucna kladena mnohem větší pozornost kontrole svarů, a to především nedestruktivním zkouškám, ochraně životního prostředí a v neposlední řadě i větší plošnější automatizaci a robotizaci svařování.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je zdroj tepla, který slouží k natavení základního a přídavného materiálu. Vyznačuje se vysokou tepelnou energií. Z fyzikálního hlediska je elektrický oblouk samovolný elektrický výboj kruhového průřezu v plynném prostředí (v ionizované směsi plynů a par, která je vodivá a prochází jí proud) s vysokou teplotou (cca 6 000 °C) hořící za pomoci stejnosměrného (=) nebo střídavého (≈) proudu. Elektrický oblouk se zapaluje buď přerušením zkratu nebo vysokonapětovou jiskrou, která ionizuje plyn a tím způsobuje jeho vodivost.

Elektrický oblouk se skládá z katodové oblasti, sloupce oblouku a anodové oblasti. Délka katodové oblasti je velice malá 10^{-5} až 10^{-4} mm, délka anodové oblasti je 10^{-3} až 10^{-2} mm. Na katodě a anodě jsou tzv. skvrny. Katodová skvrna je část povrchu žhavé katody, ze které jsou emitovány elektrony. Anodová skvrna je část povrchu anody, ve které jsou elektrony pohlcovány.

Sloupec oblouku je jasně zářivá viditelná část oblouku s vysokou teplotou a nízkým napětím, která je tvořena plazmatem. Ve sloupci oblouku dochází k ionizaci plynu, což umožňuje přenos energie a hoření oblouku. [1]

Při svařování se k ohřevu svařence využije pouze část z celkové energie elektrického oblouku. Energie je jednak využita na ohřev a tavení elektrody a základního materiálu, ale také na úhradu ztrát radiací. Tepelný výkon Q elektrického oblouku je definován jako množství tepla, které přejde z oblouku do svarové lázně a je vyjádřeno rovnicí (1)

$$Q = \eta \cdot U \cdot I \quad [W] \quad (1)$$

kde

η - je účinnost závislá na metodě svařování (pohybuje se od 0,5 až do 0,85) [-],

U - je elektrické napětí [V],

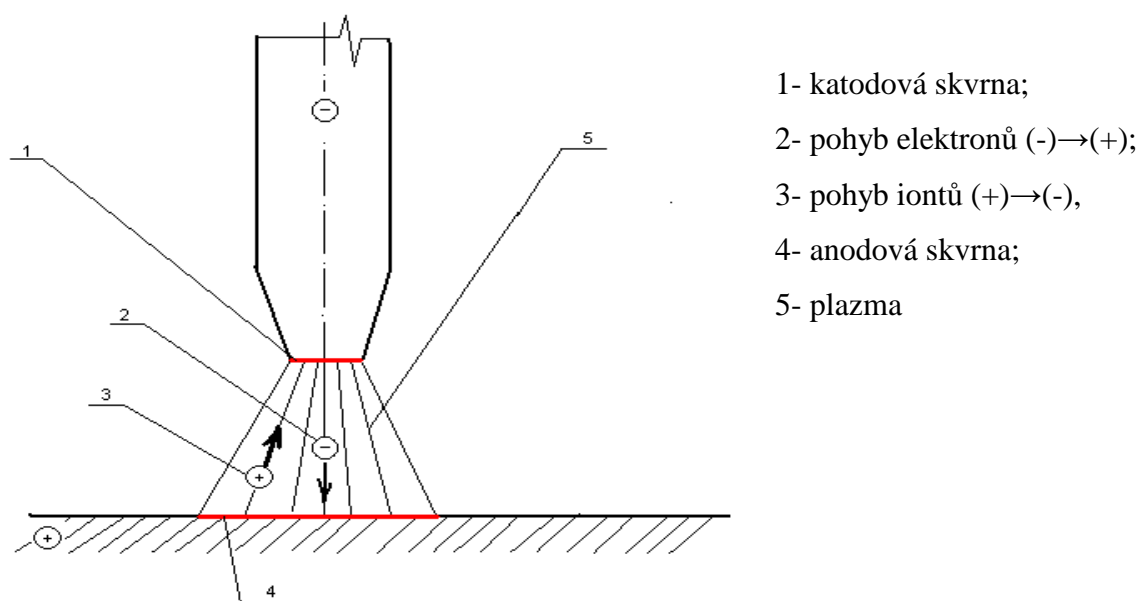
I - je elektrický proud [A].

Výkon elektrického oblouku jeho geometrii a teplotu je možno regulovat a v širokém parametrickém rozmezí měnit. [2],[13]

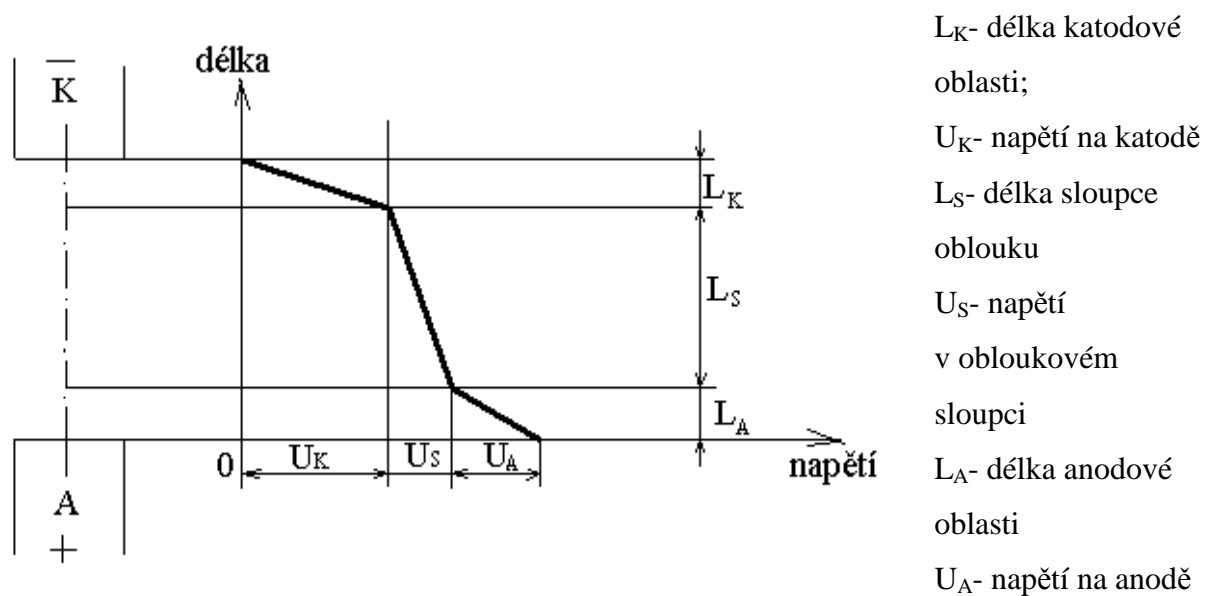
Na obrázku 2.1 je schematicky znázorněno hoření elektrického oblouku při svařování a na obrázku 2.2 je schematicky zobrazen úbytek napětí v závislosti na délce oblouku.

Elektrický oblouk se skládá z:

- katodové oblasti
- anodové oblasti
- obloukového sloupce



Obr. 2.1 Schéma hoření elektrického oblouku při svařování[1]



Obr. 2.2 Schéma oblastí elektrického oblouku.[1]

2.1.1 Síly působící na kapku kovu z odtavující se elektrody.

Při svařování elektrickým obloukem odtavující se elektrodou působí na kapku tekutého kovu tyto hlavní síly:

- a) Gravitační síla,
- b) Síla povrchového napětí,
- c) Elektromagnetická síla,
- d) Reaktivní síla vyvolaná vypařováním kovu z povrchu kapky a vývinem plynů,
- e) Tlak plazmových par,
- f) Síla při výbuchu (rázová vlna) tenkého krčku mezi elektrodou a kapkou při zkratovém přenosu,
- g) Síla z dynamického rázu při vzniku výboje po zkratu.

Některé z těchto sil podle směru svého působení při svařování přenos kovu podporují, jiné působí proti směru přenosu. Většinu z uvedených sil je možno za určitých zjednodušujících předpokladů vyjádřit matematicky.

Gravitační síla má významnější vliv pouze u rozměrnějších kapek. Při svařování v poloze nad hlavou působí proti přenosu kovu. Pokud se nesvařuje v poloze vodorovné shora, způsobí tato síla odklon kapky od osy elektrody. Pro kulový tvar kapky je možno tuto sílu vyjádřit rovnicí (2)

$$F_G = k \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_k^3 \cdot \rho \cdot g \quad [N] \quad (2)$$

kde:

k - souč. charakterizující část tekutého kovu zůstávající na elektrodě po odtržení kapky [-],

R_k - poloměr kapky [mm],

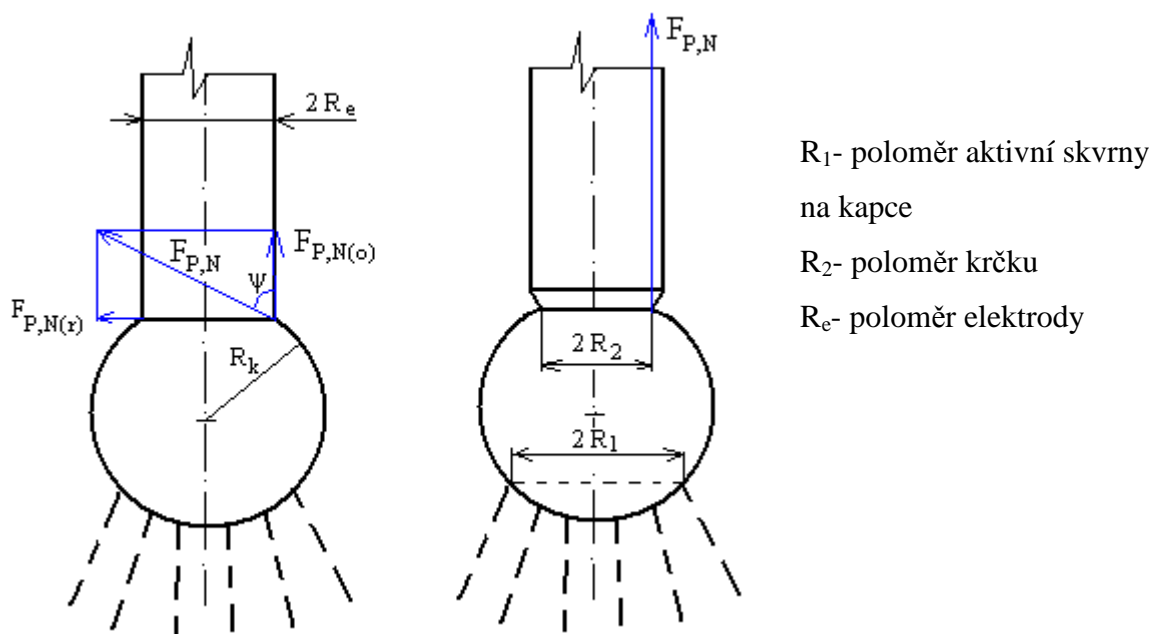
ρ - měrná hmotnost roztaveného kovu kapky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

g - gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

π - Ludolfovo číslo [-],

Síla povrchového napětí ztěžuje přenos kapek z elektrody do svarové lázně. Před vytvořením krčku se předpokládá, že síla působí v místě přechodu mezi kapkou a nenataveným materiálem elektrody a má směr tečny ke kapce. Sílu povrchového napětí lze rozložit na osovou a radiální složku. Osová složka síly povrchového napětí $F_{P,N(o)}$ působí proti

přenosu kapky. Radiální složka síly povrchového napětí $F_{P,N(r)}$ se snaží stlačit kapku a vytvořit krček. Po vytvoření krčku lze za místo působení síly povrchového napětí uvažovat minimální průřez krčku, tak jak je vyznačeno na obr. 2.3.



a) do vytvoření krčku

b) po vytvoření krčku

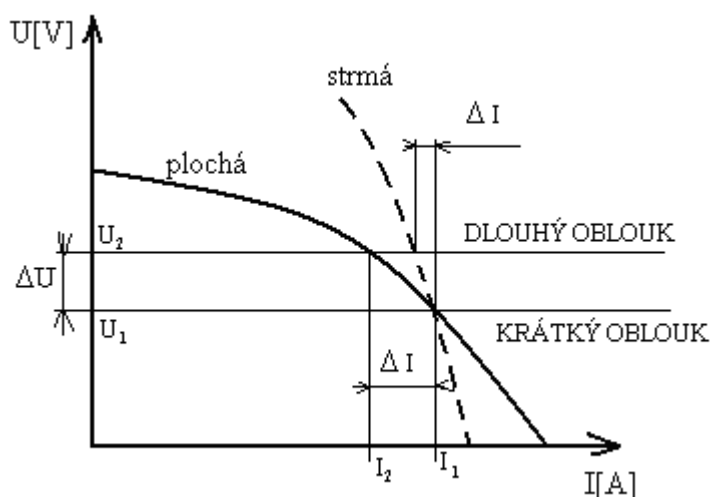
Obr. 2.3 Schéma sil povrchového napětí, působících na kapku

Elektromagnetická (Lorenzova) síla je výsledkem vzájemného působení elektrického proudu a magnetického pole, které elektrický proud vyvolává při průchodu daným prostředím. Pokud není průřez vodiče konstantní, tak jako je tomu při tvorbě kapky na konci elektrody, má elektromagnetická síla radiální a axiální složku. Radiální složka působí zmenšováním průřezu krčku a axiální složka ovlivňuje přenos kapky podél osy elektrody.

2.1.2 Statická charakteristika svařovacího zdroje

Je to závislost mezi napětím a proudem na výstupních svorkách svařovacího zdroje v ustáleném stavu. Při ručním způsobu svařování obalovou elektrodou je na schopnostech svářeče jak vede elektrodu nad svařovaným materiálem a to ovlivňuje délku oblouku, která způsobuje změnu napětí na oblouku (zvětší-li se délka oblouku, vzroste napětí a naopak).

Důležitým požadavkem při svařování je, aby se tyto změny napětí (prostřednictvím změny délky oblouku) projevovaly jen nepatrně na změně nebo kolísání svařovacího proudu. To může zajistit pouze svařovací zdroj speciální konstrukce s příznivým průběhem statické charakteristiky. Pro nejmenší kolísání svařovacího proudu při ručním svařování obalenou elektrodou je nejvýhodnější svařovací zdroj s co nejstrmější statickou charakteristikou (viz obr. 2.4). Z obrázku je patrné, že při svařování obalenou elektrodou a svařovacím zdrojem se strmou statickou charakteristikou (např. proudem I_1 a napětím U_1) se může z nějakého důvodu zvětšit délka oblouku (např. nerovností svařovaného materiálu nebo menší zručností svářeče atd.). Podle směru změny se to projeví zvětšením nebo zmenšením napětí například na hodnotu U_2 , což se projeví změnou svařovacího proudu na hodnotu I_2 . Jak je z obrázku 2.4. zřejmé, poměrně velká změna napětí ΔU vyvolaná náhlým zvětšením délky oblouku způsobí u strmé charakteristiky oblouku jen nepatrnou změnu svařovacího proudu ΔI . To je výhodné pro ruční svařování, neboť svařovací proud je jen málo citlivý na změnu délky oblouku. Naopak u ploché statické charakteristiky zdroje se změna napětí ΔU projeví velice výraznou změnou svařovacího proudu. Jedná se tudíž o způsob samoregulace délky elektrického oblouku. Ta je využívána především u metod s automatickým podáváním drátu, tedy u metod MIG a MAG. [1]



Obr. 2.4 Statická charakteristika svařovacího zdroje.

Podle průběhu statické charakteristiky tedy rozdělujeme svařovací zdroje na zdroje:

- a) S strmou statickou charakteristikou zdroje.
- b) S plochou statickou charakteristikou zdroje.
- c) S možností definování vlastní statické charakteristiky.

2.2. Teoretické základy metody MIG

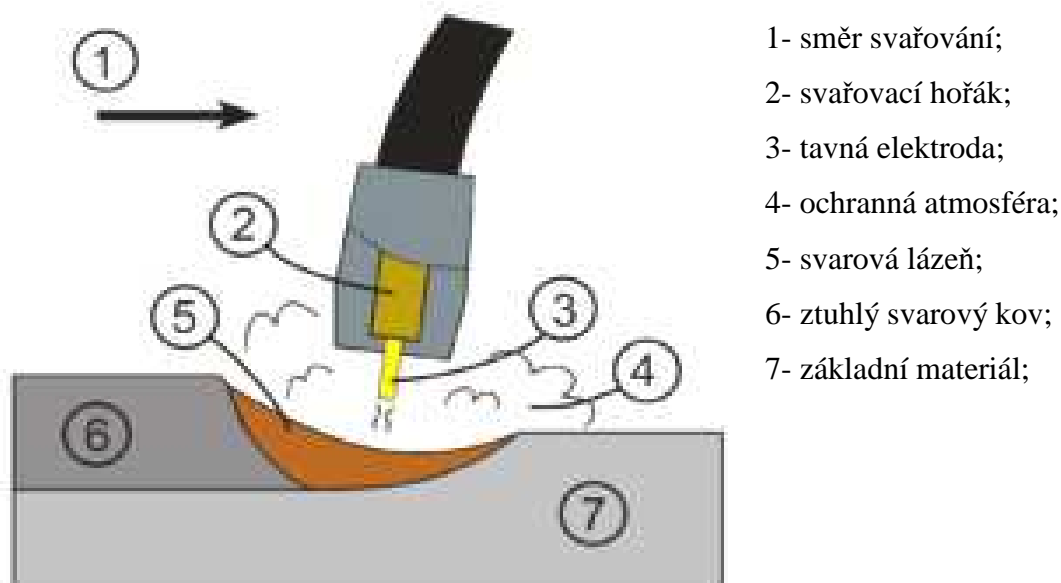
Svařování MIG patří mezi technologie tavného svařování. Místním natavením svarových ploch základního materiálu a odtavením elektrody vzniká svarová lázeň, která následně tuhne a vytváří požadovanou fyzikální vazbu spojovaných materiálů.[8]

Zdrojem tepla je elektrický oblouk, který hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného (inertního) plynu argonu nebo helia, případně jejich směsi. Elektroda (holý drát) je plynule dodávána do místa svaru.

Svařuje se stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody, poloautomaticky nebo automaticky. Metodou MIG se svařují převážně materiály tloušťky 0,8 až 40 mm. Používá se na svařování hliníku, mědi, titanu, vysokolegovaných ocelí a dalších neželezných kovů. [6]

Svařování MIG, tedy svařování tavící se elektrodou v inertním plynu, získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení.

Tato metoda má široké uplatnění v případech, kde se klade důraz na velkou rychlost svařování, velký odtavný výkon a operativnost.



Obr. 2.5 Svařování metodou MIG

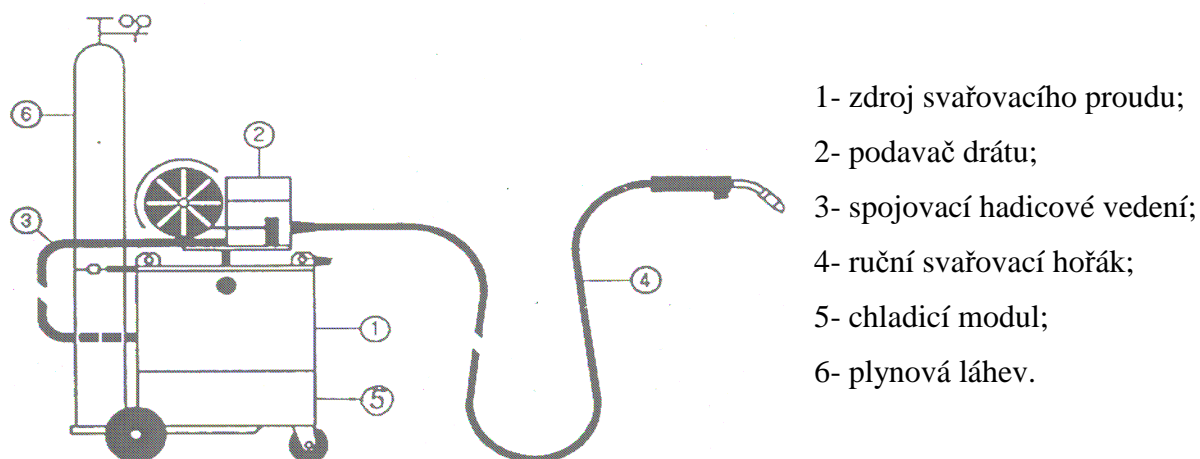
Hlavními výhodami této metody jsou čistota pracovního prostředí, velká odtavovací rychlost elektrody, velká produktivita, větší odolnost proti vzniku pórů ve svaru. [6]

Ačkoli má tato metoda mnoho nesporných výhod, najdou se i některé nežádoucí vlivy, jako např. nebezpečí vzniku studených spojů, zvýšená intenzita záření, rozstřík kovu při svařování a v neposlední řadě i požadavek na zajištění dostatečného množství ochranného plynu do okolí svaru. Velký důraz je třeba klást také na čistotu ochranných inertních plynů. Na obr. 2.5 je schématické znázornění svařování metodou MIG.

2.2.1 Charakteristika a rozsah použití svařovací metody MIG

Metoda svařování MIG se používá pro svařování ve všech polohách. Její použití je pro široké rozmezí tloušťek materiálu (0,8 – 40 mm). Touto metodou se svařují zejména vysokolegované oceli, slitiny Al, Ni, Cu. Při svařování se využívá stejnosměrný proud a zdroj elektrického proudu s plochou charakteristikou. Pro tento způsob svařování se používá vysoká proudová hustota 100 až 400 $[A \cdot mm^2]$, což umožňuje dosažení vysokých svařovacích rychlostí a výkonů odtavení. Jako přídatný materiál se používají dráty různých průměrů v rozmezí 0,8 až 2 mm. [1],[2]

Na obr. 2.6 je znázorněno schéma zařízení pro svařování metodou MIG.



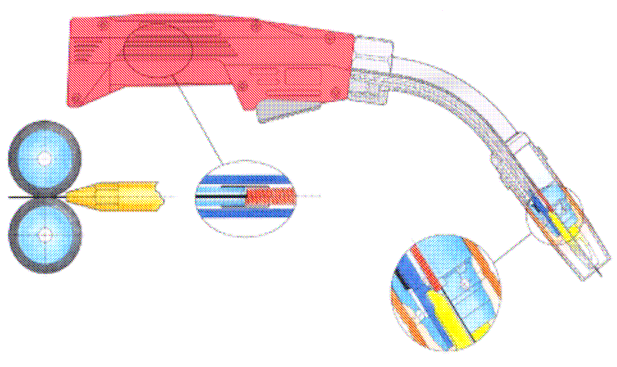
Obr. 2.6 Schéma zařízení pro svařování MIG.

2.2.2 Svařovací hořáky

Svařovací hořáky pro metodu MIG zabezpečují přívod svařovacího proudu na tavící se elektrodu pomocí kontaktní špičky, usměrňují ochranný plyn do místa svaru, usměrňují drát do místa oblouku a zajišťují přísun chladicí kapaliny do koncovky a dýzy. [8]

V principu rozlišujeme hořáky strojní a ruční, přičemž do délky cca 4,5 m lze dopravovat drát pouze posuvem pomocí podávacího zařízení zdroje a nad touto délkou se uplatňují hořáky typu Push-Pull. Ruční hořáky rozlišujeme dále podle jejich provedení na hořáky s plynovým, nebo vodním chlazením. Rozhodování, zda je potřebné chlazení plynové nebo vodní, se řídí v první řadě podle výkonového pásma, ve kterém se bude svařovat a podle dovoleného proudového zatížení. Pro vyšší hodnoty proudů je účelné používat hořáky s vodním chlazením (podstatně delší životnost). [10]

Svařovací hořák by měl mít poměrně malou hmotnost, dobré parametry pro proudění ochranné atmosféry, odolnost proti vysoké teplotě, pádu, nárazu, jednoduchou a vyměnitelnou dýzu. [5] Na obr. 2.7 je schéma svařovacího hořáku.



Obr. 2.7 Schéma svařovacího hořáku a jeho částí.

2.2.3 Podavače drátů

Slouží k plynulému přívodu a regulaci podávání drátu do místa svaru, což je podmínkou pro stabilní proces a přenos kovu do svarové lázně. Pro pohon posuvu se používají stejnosměrné derivační motory nebo např. motory s diskovým rotorem, které se vyznačují velkou životností. V praxi se používají 2 a 4 kladkové posuvové systémy. Předností čtyřkladkových systémů je možnost bezproblémového posuvu i obtížně transportovatelných drátů. Rychlost posuvu drátu by měla být nastavitelná v rozmezí od 1 do cca 22 m/min. [10] Na obr. 2.8 je zařízení pro podávání drátu.

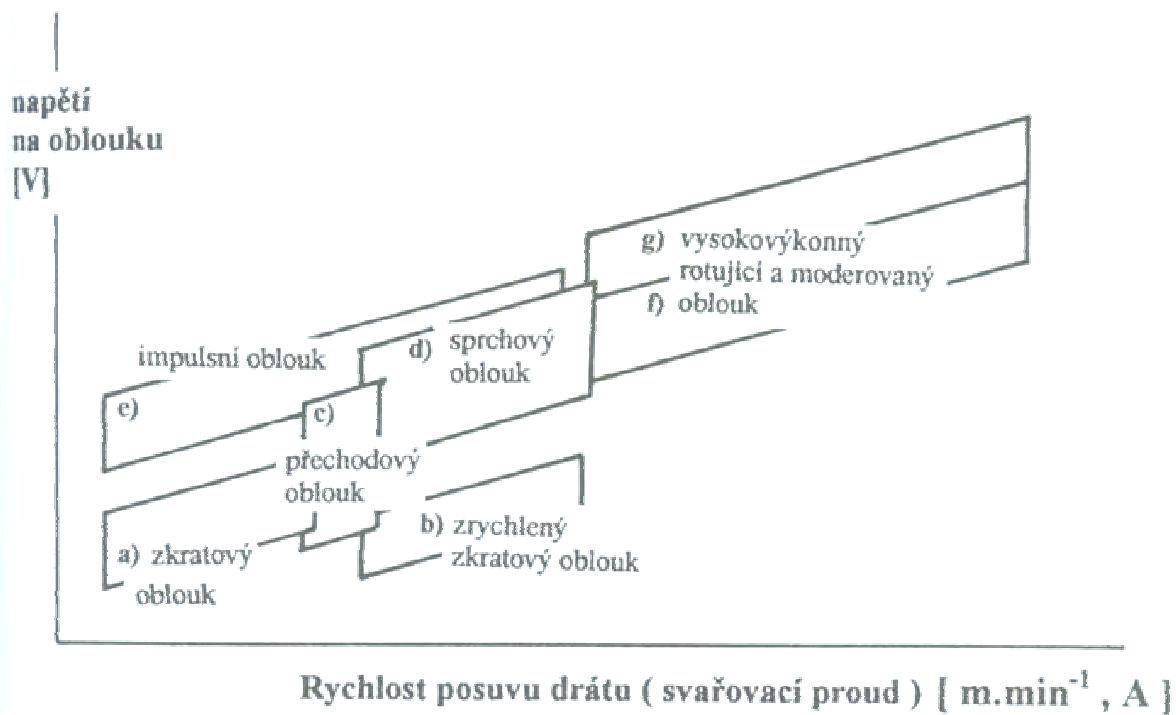


Obr. 2.8 Podavač drátu [11]

2.2.4 Způsoby přenosu kovu v oblouku

Při přenosu nataveného materiálu elektrody do svarové lázně se uplatňuje složitý systém působení sil. Velikost, směr a výslednice sil jsou určovány svařovacími parametry (proudová hustota, průměr elektrody, polarita apod.). Gravitace působí podle polohy svařování, povrchové napětí udržuje kapku kovu na konci elektrody, jeho snížení zlepšuje přenos. Při přenosu se výrazně uplatňuje působení elektromagnetických sil. Elektrický oblouk protékající soustavou elektroda-oblouk-základní materiál vytváří magnetické pole, jehož silové činky (Lorenzovy síly – kap 2.1.1) působí v radiálním a axiálním směru.[2]

Na obr. 2.9 jsou znázorněny oblasti pro různé druhy přenosu kovu v oblouku.



Obr. 2.9 Přenos kovu v elektrickém oblouku.[7]

Přenos kovu můžeme rozdělit na jednotlivé typy (viz obr. 2.9):

- a) krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- b) krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- c) přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými přechodovými zkraty
- d) dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- e) impulsní bezzkratový oblouk
- f) moderovaný bezzkratový přenos
- g) dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Zkratový přenos se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu od 60 do 180 A a napětí 14 -22 V. Výkon navaření se pohybuje při těchto parametrech v rozmezí 1-3 kg/h. Při zkratovém způsobu přenosu dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se odděluje natavená část elektrody.

Sprchový přenos znamená, že se oddělí odtavující se kapka kovu ze svařovacího drátu dříve, než se dotkne základního materiálu. Tento přenos se používá při svařování svařovacími dráty od průměru 0,8 mm, při svařovacím proudu nad 200 A, při napětí 25 až 40 V. Sprchový proces hoření elektrického oblouku pracuje s velmi dlouhým obloukem

při poměrně vysokém svařovacím napětí a značné proudové hustotě. Roztavený kov svařovacího drátu přechází přes oblouk v malých kapkách do tavné lázně. Rozměry kapek nedosahují délky oblouku a v průběhu hoření elektrického oblouku nedochází ke zkratům. Nejčastěji se používá při automatickém svařování a při použití směsi plynů Ar+He, s převládajícím množstvím argonu nebo pouze v čistém argonu. [3]

Svařování impulsním proudem je zvláštní formou bezzkratového přenosu kovu. Parametry svařování impulsním přenosem překrývají oblast zkratového i sprchového přenosu. Základní proud je nízký od 20 do 50 A a jeho funkcí je udržení ionizace sloupce oblouku, a tím i vedení proudu. Svařování impulsním přenosem má řadu výhod: vnáší se méně tepla do svaru s menším deformačním účinkem, lze svařovat tenké plechy i polohové svary nezkratovým přenosem a výkon navaření se pohybuje mezi 2 – 5 kg/h. Kresba povrchu svaru i kořene je pravidelná a jemná. Tento způsob přenosu je velmi vhodný pro svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegovaných ocelí. Díky možnosti nastavení optimálních hodnot (proud, frekvence, napětí, amplituda) poskytuje široké aplikační možnosti. [7]

2.3. Parametry svařování ovlivňující geometrii svarové lázně

Svařovací proces ovlivňuje mnoho proměnných činitelů, které mají vliv i na geometrii vzniklého svaru. Proto je snahou volit tyto parametry svařování tak, abychom získali svarový spoj požadovaných rozměrů a tvaru. [9]

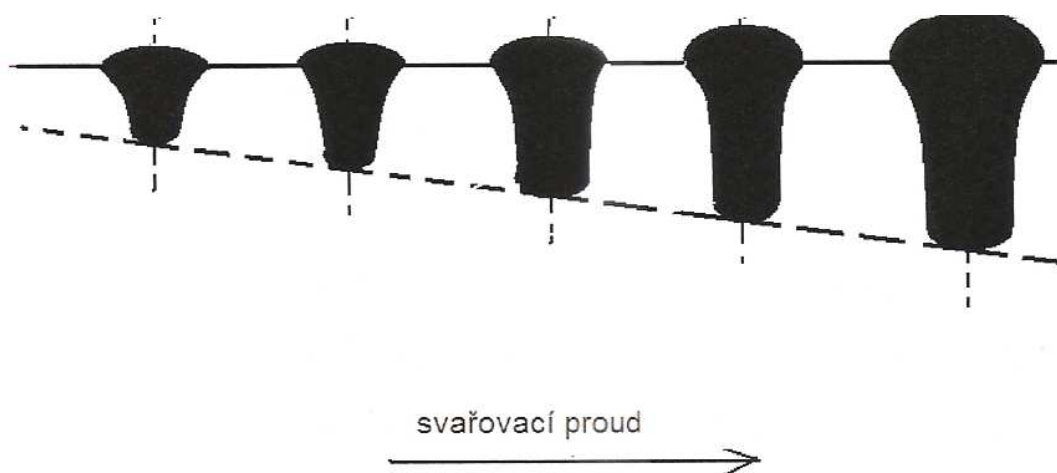
Vliv na geometrii svarové lázně mají především:

- Svařovací proud
- Napětí na oblouku
- Rychlost svařování
- Rychlost podávání drátu
- Druh a průměr drátu tavící se elektrody
- Polarita
- Výlet drátu
- Sklon drátu vůči povrchu svařovaného materiálu
- Druh a množství ochranného plynu
- Tvar a rozměry svarových ploch
- Druh přenosu kovu v oblouku
- Teplota předehřevu základního materiálu
- Poloha svařování

2.3.1. Vliv velikosti svařovacího proudu

Svařovací proud je závisle proměnná funkce rychlosti podávání drátu při určitém průměru drátu. Velikost svařovacího proudu, a tím i rychlost podávání svařovacího drátu při daném průměru drátu, se volí podle tloušťky základního materiálu a polohy svařování, velikosti a druhu prováděného svaru, způsobu svařování (poloautomaticky nebo automaticky), technologické přístupnosti ke svaru. Velikost svařovacího proudu ovlivňuje přímo hloubku závaru při dodržení ostatních parametrů. [3]

Na obr. 2.10 je znázorněn vliv svařovacího proudu na geometrii svarové lázně. [5]



Obr. 2.10 Vliv svařovacího proudu na tvar svaru.

2.3.2. Vliv svařovacího napětí

Hodnota napětí na oblouku se nastavuje na zdroji svařovacího proudu (plynule nebo postupně dle typu stroje) v závislosti na velikosti svařovacího proudu. Potřebný rozsah nastavení napětí na oblouku je velmi úzký a svářeč jej musí nastavovat velmi přesně. Velikost napětí závisí na průměru použitého svařovacího drátu a na velikosti svařovacího proudu. Skutečná hodnota napětí na oblouku se doreguluje podle podmínek svařování a vlastností použitého zdroje proudu tak, aby byla dosažena maximální stabilita a optimální samoregulace hoření elektrického oblouku při daném svařovacím proudu. [3]

Na obr. 2.11 je vliv napětí na geometrii svarové lázně. [5]



Obr. 2.11 Vliv svařovacího napětí na tvar svarové housenky.

2.3.3. Vliv průměru svařovacího drátu

Velikost průměru svařovacího drátu volíme v závislosti na druhu prováděného svarového spoje, tloušťce základního materiálu, poloze svařování, požadovaném výkonu natavení atd. [3]

Pokud se zvětšuje tloušťka materiálu, zvětšuje se i průměr svařovacího drátu. Použití malého průměru drátu, zajistí velký výkon odtavení. Pokud se jedná o svařování nad hlavou nebo ve svislých polohách, je nutné použít dráty menších průměrů. Při změně průměru drátu se mění proudová hustota drátu a tím i rozměr a tvar svaru. Proudová hustota udává proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez. Z toho vyplývá, že při zvyšování průměru drátu klesá proudová hustota. To má za následek i klesající odtavný výkon, který je na ni závislý, snižuje se hloubka závaru a zvětšuje se šířka svarové lázně.[8]

Pro svařování MIG se vyrábějí plné nebo trubičkové dráty. Plné dráty se vyrábějí a dodávají v těchto průměrech: 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2 a 2, 4 mm. Ovšem nejčastěji se používají dráty o průměru 0,8 až 1,2 mm. Dodávají se navinuté na cívkách o hmotnosti nejčastěji 15 kg. Plněné dráty jsou označovány podle normy ČSN EN 758. [7]

Stabilitu svařovacího procesu ovlivňuje nejen chemické složení drátu, ale i jeho povrchová úprava. Povrch drátu nesmí být mastný, musí být čistý a bez koroze. Narozdíl od svařování MAG, kdy je možnost ovlivňovat svarovou lázeň částečně aktivní atmosférou, u svařování MIG toto lze jen výjimečně nebo vůbec. Proto legující prvky musí být obsaženy už přímo v přiváděném drátu.

2.3.4. Výlet elektrody

Je to délka volného konce svařovacího drátu od nataveného konce v elektrickém oblouku po napájecí průvlak přívodu svařovacího proudu. Výlet drátu se volí podle jeho průměru. Pokud je výlet drátu větší než doporučený, způsobuje větší rozstřík a horší ochranu tavné lázně. Rychlé změny výletu svařovacího drátu působí negativně na stabilitu svařování. Při větším výletu drátu klesá svařovací proud (roste odpor volného konce svařovacího drátu). Této skutečnosti se dá krátkodobě využít, pokud je potřeba zabránit nadměrnému protavení, např. při provařování kořenů tupých svarů nebo při překlenutí větších mezer nedokonale připravených materiálů, například plechů. [3]

2.3.5. Vliv rychlosti svařování

Postupová rychlost svařování je rychlost, s jakou svářeč provádí svar. Je to důležitý parametr, vázaný na tepelný příkon elektrického oblouku, pro vytvoření svarového spoje požadovaného průřezu s vyhovující velikostí protavení a hloubky závaru. Svařovací rychlost je parametr velmi důležitý a vzájemně se váže na svařovací proud, napětí a další. Při automatickém svařování je ověřená svařovací rychlost přesně nastavena. Při vysoké rychlosti svařování vznikají vruby na přechodu mezi svarem a základním materiálem. S klesající rychlostí svařování se zmenšuje převýšení a zvětšuje šířka. Správného procesu tvorby svarové lázně lze dosáhnout spíše při nižších rychlostech svařování. Na obr. 2.12 je vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně. [5]



Obr. 2.12 Vliv rychlosti svařování na geometrii svarové lázně.

2.4. Ochranné plyny a jejich vliv na geometrii svaru

Volba vhodného ochranného plynu může výrazně ovlivnit procesy probíhající při svařování a to např. rychlost svařování, kvalitu vzniklého svaru, množství odtaveného kovu do svarové lázně. Z toho důvodu je snahou zvolit co nejvhodnější typ ochranného plynu nebo směs plynů v závislosti na kombinaci tloušťky materiálu, druhu materiálu a procesu svařování.

Složení a množství ochranného plynu má vliv na:

- drsnost povrchu svaru, vzniklého návaru a jeho okolí
- průřez, tvar a rozměry svaru
- způsob přenosu kovu v oblouku, a to zejména tvar, rozměr a rychlost kapek přenášených obloukem
- síly působící v oblouku, jejich velikost a směr působení a tím i tvar a rozměry oblouku
- ochranu oblouku před okolní atmosférou a odvod spalin
- tvorbu ionizovaného prostředí pro kvalitní start a stabilní hoření oblouku
- metalurgické děje při tvorbě kapek a jejich přenosu obloukem do svarové lázně
- kvalitu, hladkost a celistvost povrchu
- mechanické vlastnosti svaru

Dříve se používaly pouze jednosložkové plyny. V dnešní době jsou více využívány vícesložkové plyny, a to zejména z důvodu jejich velké variability. Změnou poměru jednotlivých složek plynu je možné zásadně měnit vlastnosti těchto plynů. Volba ochranného plynu závisí nejen na typu svařovacího procesu, svařovaného materiálu, jakožto i na dalších technologických činitelích včetně ekonomického faktoru. [7], [13]

Pro svařování MIG se používají ochranné inertní plyny nejčastěji čistý argon, helium, jejich směs, případně malý podíl dalších prvků a sloučenin jako je kyslík a oxid uhličitý. Čistota plynů a přesnost míchání směsí jsou stanovené normou ČSN EN 439 [2]

Ochranný plyn má vliv na tyto charakteristiky svařování: síly působící v oblouku, tvar a rozměry oblouku, vytvoření ionizovaného prostředí pro vhodný start a hoření oblouku, na tvorbu kapky a jejího přenosu obloukem ve svarové lázni, tvar a rozměry průřezu svaru, pórovitost a hladkost povrchu svaru, kvalitu svarového spoje, jeho mechanické vlastnosti a celistvost.[7]

Smícháním plynů lze eliminovat negativní vlastnosti jednotlivých složek a tím získat podstatné zvýšení užitných vlastností plynů. Základní vlastnosti jednotlivých složek plynů využitelných při svařování vysokolegovaných ocelí jsou následující:

Argon. Je dobře ionizovatelný, podporuje klidný a stabilní elektrický oblouk. Vytváří široký závar i svar. Do čistého argonu se přidávají některé plyny, např. helium, oxid uhličitý a kyslík. [1]

Helium. Je to netečný plyn, velmi drahý, čistý se používá jen při svařování metodou MIG, kde je třeba vysoké energie. Dává teplejší svařovací oblouk. Protože je lehčí než vzduch, může být svařování ve vodorovné poloze komplikovanější. Rovněž spotřeba plynu je větší (až třikrát). Jeho velkou nevýhodou je obtížná ionizovatelnost. [1]

Oxid uhličitý. Je to aktivní plyn, bez barvy a bez zápachu. Dává pravidelný a hluboký závar, úzkou a převýšenou svarovou housenku. Reaguje se svarovou lázní, takže hrozí nebezpečí nauhličení svarového spoje. [1]

Kyslík. Je bez barvy a bez zápachu, nejedovatý, nehořlavý. Hoření však významně podporuje. Používá se jako přídavný plyn. Podporuje vznik široké, mírně převýšené svarové housenky, pomáhá k malému rozstříku svarového kovu, zvyšuje svařovací teplotu, kapky svařovacího kovu jsou jemné. [1]

V současnosti je snahou vyvíjet plyny pro vysokou produktivitu svařování. Výzkumné práce se proto více zaměřují na ochranné směsné plyny, využitelné v této oblasti. Mezi ně patří i směsné plyny s označením MAXX od firmy Air Products s.r.o., které byly využity při řešení této bakalářské práce.

Složení těchto ochranných plynů je voleno s ohledem na produktivitu práce a bezpečnost při svařování. Konkrétně se jedná o směsné plyny s pracovním označením Inomaxx 2, Inomaxx Plus a Euromix M13.

Inomaxx®2

Jedná se o dvousložkový ochranný plyn, který má složení: 98% Ar, 2% CO₂. Kvalifikace tohoto plynu je podle normy EN 439- M12. Byl vyvinut za účelem vytváření kvalitních svarových spojů korozivzdorných ocelí. Zajišťuje vysokou jakost svaru, i jeho

povrchu a omezuje tvorbu škodlivých emisních zplodin, které při svařování vznikají. To vše při nízkém rozstřiku kovu. Používá se pro malé a střední tloušťky materiálu. Je vhodný zejména pro svařování pulzním obloukem a je vhodný pro všechny režimy přenosu svarového kovu.

Euromix M13

Jde o standardní dvousložkový ochranný plyn, jehož složení je: 98% Ar a 2% O₂. Používá se též pro svařování korozivzdorných ocelí středních a větších tloušťek. Jeho předností je velmi dobrá kvalita svaru s minimálním rozstřikem. Splňuje normu ČSN 14 175 – M13 [12]

Inomaxx® Plus

Jde o tříložkový ochranný plyn s poměrem plynů: 63% argonu, 35% helia a 2% CO₂. Rovněž je používán pro svařování korozivzdorných ocelí. Zlepšuje kvalitu svaru a snižuje množství vznikajících vad. Má vynikající penetrační charakteristiky a širší oblast stability svařovacích parametrů. Zvyšuje produktivitu, oproti běžné směsi je rychlost ručního svařování až o 17% vyšší. Obzvláště vhodný pro oceli velké tloušťky a je vhodný pro všechny typy přenosu kovu do materiálu. Zlepšuje pracovní prostředí omezením tvorby ozónu.

2.5. Systém Weld Monitor

Je to systém navržený pro monitorování a dokumentaci svařovacího procesu s využitím moderní digitální a výpočetní techniky. Cílem tohoto systému je zajistit co nejvyšší reprodukovatelnost svarových spojů v odpovídající kvalitě. S jeho pomocí lze zefektivnit a optimalizovat výrobu v oblasti svařování. Systém Weld Monitor se skládá z hardwarového a softwarového vybavení.

2.5.1. Weld Monitor hardware

Hardwarové vybavení systému Weld Monitor (obr. 2.13), tedy snímače monitorující jednotlivé veličiny procesu svařování, se mohou připojit na libovolné svařovací zařízení. Celý systém je připojen k řídicímu počítači a umožňuje nasazení i při automatizovaném procesu svařování pro sériové sledování kvality svařovaných spojů. V základním provedení lze

monitorovat průběh svařovacího proudu a napětí. Systém dokáže v reálném čase s vysokou přesností měřit efektivní hodnoty těchto veličin a zároveň kalkulovat tzv. vnesené teplo. Snímané veličiny je možné zaznamenávat s frekvencí 12,5 kHz (v našem případě až 25 kHz), což zcela vyhovuje podmínce pro spolehlivou diagnostiku zkratových, impulsních a sprchových svařovacích procesů.



Obr. 2.13 Weld Monitor hardware [16]

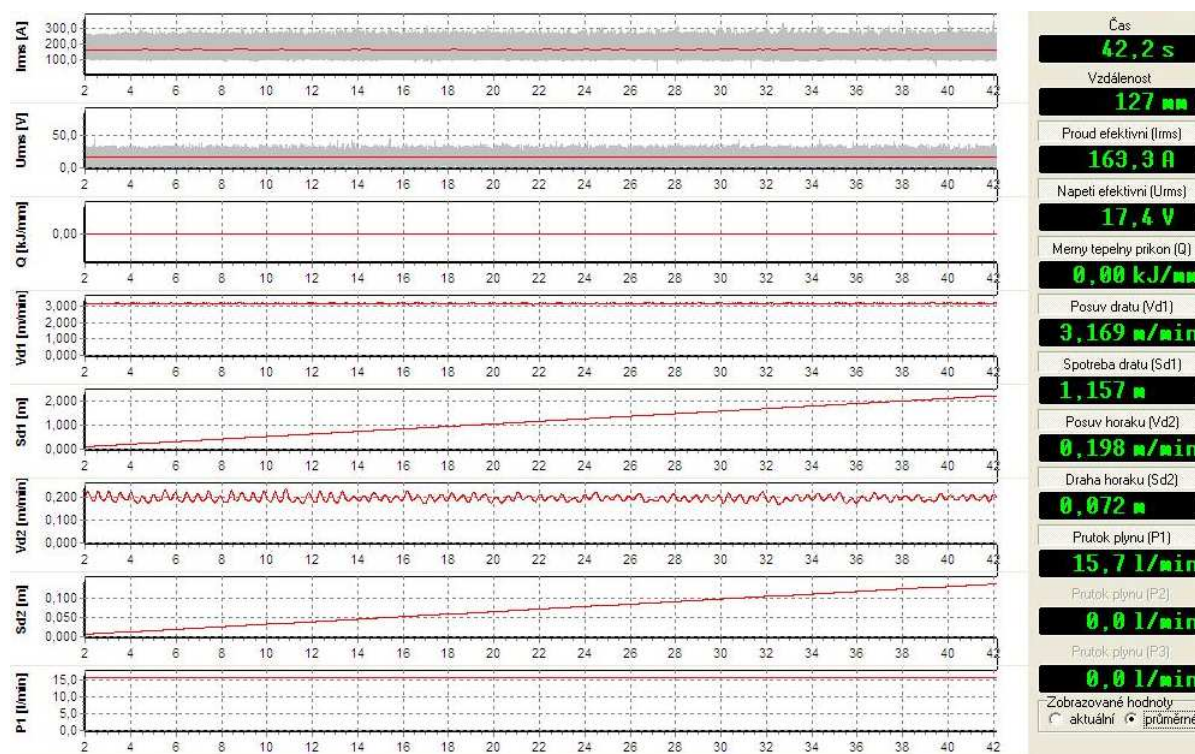
Přehled sledovaných veličin:

- čas svařování
- svařovací proud
- napětí
- měrný tepelný příkon
- rychlost podávání drátu
- spotřeba drátu
- rychlost svařování
- spotřeba ochranného plynu

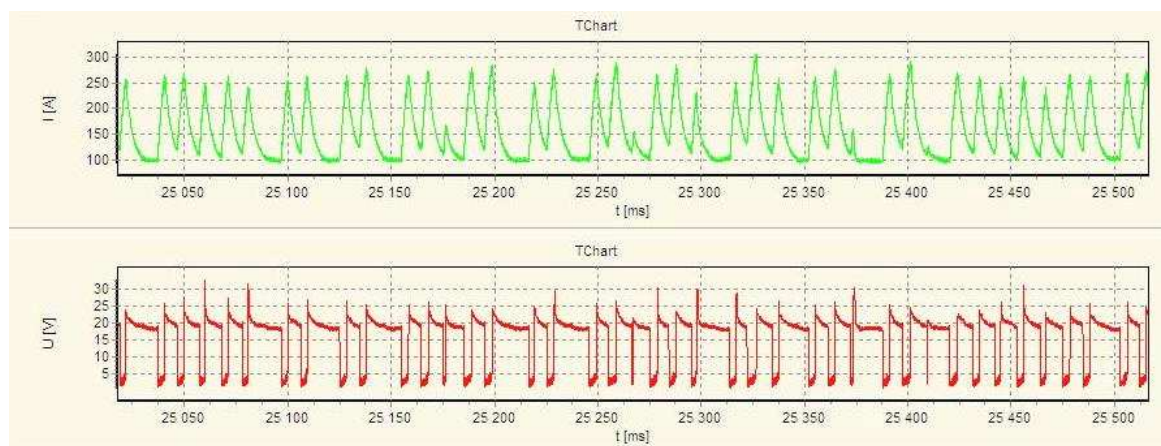
2.5.2. Weld Monitor software

Pomocí programu Weld Monitor lze profesionálně zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat jak v grafické (viz. Experimentální část), tak i v textové podobě, přičemž

je možné zobrazit aktuální nebo průměrné hodnoty (obr. 2.14). Využitím tzv. UI laboratoře (obr. 2.15) lze získat detailní grafické zobrazení signálu (jednotlivé zkraty, jejich četnost a pravidelnost). Detailní zobrazení je možné pro všechny svařovací veličiny. Program Weld Monitor umožňuje také tisk protokolů dle stávajících evropských a mezinárodních norem v oblasti svařování. Software obsahuje databázi firem, svářečů, jejich zkoušek, zařízení, základních materiálů, přídatných materiálů, plynů, dozorů svařování, postupů svařování a záznamy průběhu jednotlivých svarů včetně možnosti uložení digitálních fotografií.



Obr. 2.14 Weld Monitor Software – příklad grafů průběhů měřených veličin.



Obr. 2. 15 Weld Monitor Software – příklad záznamu z UI laboratoře programem Weld Monitor

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Cíle experimentální části

Cílem experimentální části bylo zjistit vliv různých ochranných plynů na tvar a rozměry svarové lázně při svařování metodou MIG. Při plánování nastavení vhodných parametrů svařování se vycházelo ze zkušeností, získaných z experimentů s jinými druhy ochranných plynů. Na základě takto získaných zkušeností byl vypracován plán experimentu (tab. 3.1). Celý výzkumný úkol byl v rámci grantového projektu GAČR 101/09/P176 zaměřen na výzkum vlivu různých ochranných plynů na geometrii svarové lázně. Úkolem této bakalářské práce bylo provedení experimentů s plynem **Inomaxx® Plus** a následné porovnání těchto experimentů s výsledky získanými při použití ostatních ochranných plynů.

Z důvodu zmapování co možná nejširší parametrické oblasti v systému svařovací proud a rychlost svařování, byl navržen plán experimentů (tab. 3.1). Původně navržený plán musel být v průběhu experimentu upraven. Důvodem úpravy byly skutečnosti, že při svařování nízkými hodnotami svařovacího proudu a vysokými hodnotami svařovací rychlosti nebylo dosaženo dostatečné velikosti nosného průřezu svaru. Při svařování vysokými hodnotami svařovacího proudu a nízkými hodnotami svařovací rychlosti docházelo zase až k protavení materiálu. Skutečně realizované experimenty jsou v tabulce 3.1 zvýrazněny šedě.

Celá experimentální část byla rozdělena do následujících etap:

- a. Příprava vzorků.
- b. Svaření vzorků podle plánu experimentu.
- c. Monitorování svařovacích parametrů.
- d. Rozřezání vzorků a jejich příprava pro metalografické zpracování.
- e. Metalografické zpracování a naleptání vzorků.
- f. Geometrické vyhodnocení svarové lázně.

Tab. 3.1 Plán experimentu

I [A]	v [m/min]							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
160	x	x	x	x	x			
180	x	x	x	x	x	x	x	x
200	x	x	x	x	x	x	x	x
220			x	x	x	x	x	x
230				x	x	x	x	x

3.2. Zařízení potřebná pro úspěšné splnění cílů experimentální části.

Experiment probíhal na třech pracovištích katedry strojírenské technologie. Jednalo se o laboratoř přípravy a dělení vzorků, laboratoř svařování a o metalografickou laboratoř. První operací byla příprava experimentálních vzorků pro vlastní experiment. Jednalo se o přípravu vzorků bodováním. Tato operace probíhala ve speciálním přípravku a bylo k ní využito metody svařování 141 (svařování netavící se elektrodou v inertní ochranné atmosféře). V této laboratoři také došlo, po svaření a monitorizaci vzorků, k oddělení přebytečných částí plechů (schematické znázornění obr. 3.3). Protože tento typ materiálu není možné dělit kyslíko-acetylenovým plamenem a plazmou katedra strojírenské technologie nevlastní, byly přebytečné části odděleny mechanicky rozbrušováním řezným kotoučem.

Svařování a monitorizace svařovacích parametrů proběhlo v laboratoři svařování. Pro svaření vzorků byl použit svařovací zdroj MIGATRONIC BDH 550 Puls Syn. Jedná se o invertorový zdroj s možností pulzního režimu a synergického ovládání. Toto svařovací zařízení je vybaveno ručním a automatizovaným hořákem pro svařování ocelí a dále ručním hořákem pro svařování hliníku. Hořák je speciálně upraven pro simulaci robotnického svařování.

Zdroj svařovacího proudu byl propojen s lineárním automatem s plynule nastavitelnou rychlostí pojezdu v rozmezí svařovacích rychlostí 0,2- 2,3 m/min. Všechny vzorky byly svařeny ve speciálním přípravku. Funkce tohoto přípravku spočívá jednak ve správném zajištění požadované geometrické polohy mezi svařovaným materiálem a svařovacím hořákem pro stejnou vzdálenost kontaktní špičky od spojnice stojiny a pásnice a jednak v možnosti jednoznačně definice úhlu mezi hořákem a svařencem. Konstrukce přípravku umožňuje svařovat tupé i koutové svary. Díky liniovému dotyku mezi svařencem a přípravkem na styčných plochách, lze také přesně definovat odvod tepla do okolí, jak již bylo zmíněno. Tato vlastnost je využita zejména při získávání podkladů pro simulační

výpočty tavného svařování. Na obrázku 3.1 je celkový obrázek popisovaného pracoviště, včetně zdroje, lineárního automatu a speciálního přípravku.

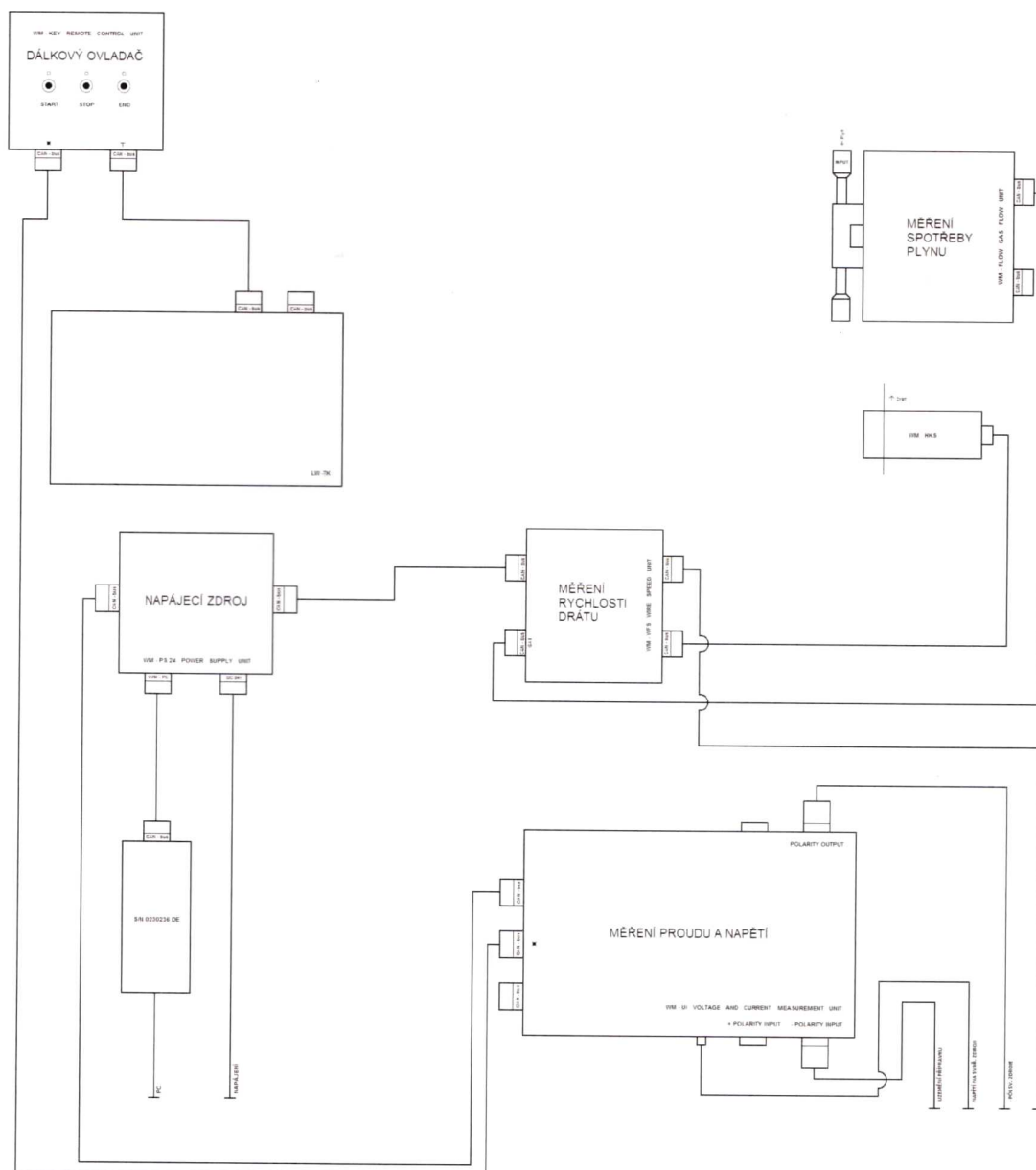
Veškeré svařovací parametry byly monitorovány systémem Weld Monitor (kap. 2.5). Tento systém je složen z několika na sobě nezávislých modulů. Na obrázku 3.2. je znázorněno schématické zapojení jednotlivých modulů použitých pro monitorizaci při svařování metodou MIG. Získaná data jsou zaznamenána a uložena do externího počítače a následnou editací je možné získat průměrné i okamžité hodnoty, včetně detailního grafického zkoumání měřeného signálu. Možnosti programu Weld Monitor jsou popsány v kapitole 2.5 a ukázány na obrázcích 2.14 a 2.15.



Obr. 3.1 Speciální přípravek pro svařování [16]

Posledním místem experimentálních prací byla metalografická laboratoř. Pomocí rozbrušovací pily Delta AbrasiMet byly vyhotoveny vzorky pro metalografické zpracování a následné geometrické vyhodnocení svarové lázně. Získané vzorky byly zality do speciální pryskyřice dentakryl a po broušení, leštění a naleptání vzorků byly makrovýbrusy svarů nasnímány digitální kamerou Nikon digital sight na světelném mikroskopu Neophot 21

při desetinásobném zvětšení. Geometrické vyhodnocení rozměrů svarové lázně, jak bude popsáno v dalších kapitolách, proběhlo v programu NIS Elements AR 2.30.



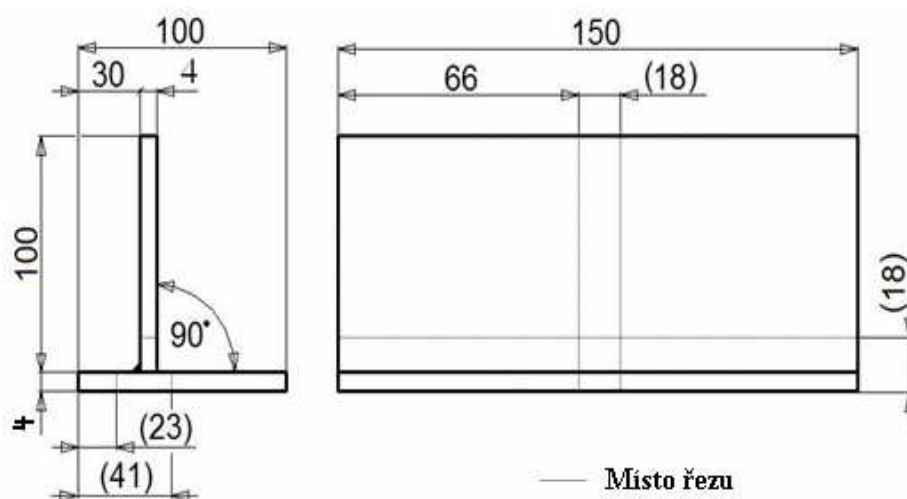
Obr. 3.2 Schéma zapojení systému Weld Monitor.

3.3. Postup experimentu

3.3.1. Příprava vzorku

Pro přípravu experimentálních vzorků byla zvolena konstrukční vysokolegovaná korozivzdorná austenitická ocel 17 241 (X5CrNi1810 podle ČSN EN 10020). Vzorky byly koncipovány jako koutové svary a sestaveny z plechů o rozměrech 150 x 100 x 4. Tyto rozměry jsou dostačující k tomu, aby bylo dosaženo ustáleného teplotního pole a tím aby byl zajištěn i konstantní průřez svaru. Šířka plechů je dostačující i pro bezproblémové monitorování teplotních polí a teplotního gradientu. Tloušťka plechů 4 mm byla volena na základě předchozích zkušeností a s ohledem na hodnoty maximálního proudu v plánu experimentů (tab. 3.1). Ohled byl brán také na ekonomičnost, protože cena materiálu je zhruba sedmkrát vyšší než u klasických konstrukčních ocelí.

Plechů o rozměrech 150 x 100 x 4 byly k sobě ustaveny v přípravku a následně nastehovány tak, aby byla zaručena jejich vzájemná kolmost a stejné geometrické rozměry. Na obr. 3.3 jsou vyznačeny rozměry takto nastehovaných vzorků, včetně naznačených míst odběru vzorků pro metalografické zpracování. Jelikož se jednalo o plechy zhotovené stříháním, bylo nutné obrobit a upravit dosedací plochu stojiny tak, aby byly zajištěny stejné podmínky pro všechny experimentální svary. Tato úprava zajistila i možnost sestavení vzorků s nulovou svarovou mezerou.



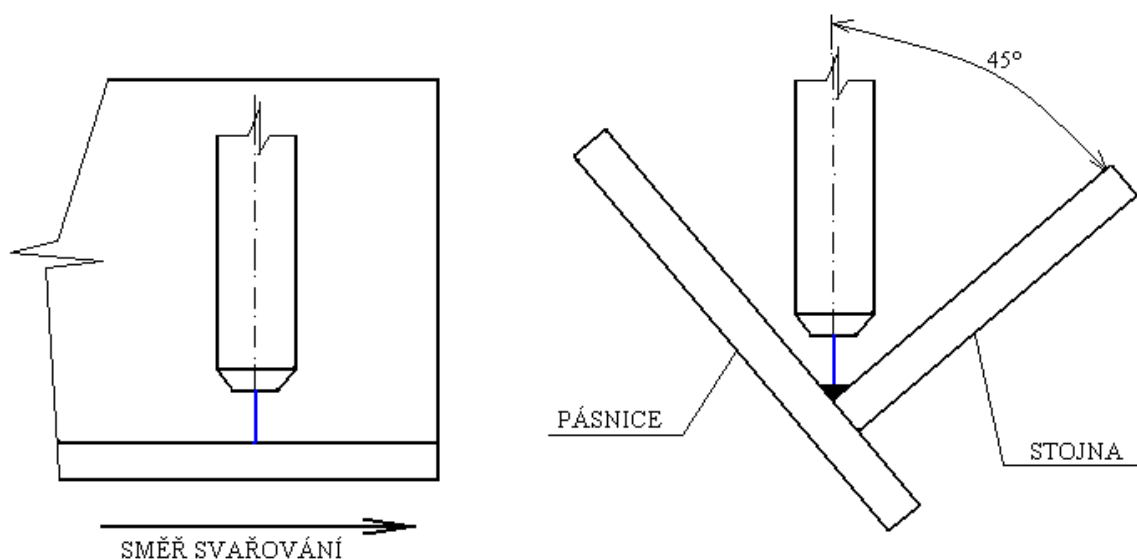
Obr. 3.3 Schéma a geometrie svařených vzorků včetně znázornění rozřezání na jednotlivé experimentální vzorky.

3.3.2. Svaření vzorků podle plánu experimentu.

Takto připravené vzorky byly očíslovány a přeneseny do laboratoře svařování. Následovalo svaření vzorků pomocí svařovacího zdroje BDH 550 Puls Syn připojeného k lineárnímu automatu s plynule nastavitelnou rychlostí svařování. Svařovací parametry byly nastaveny podle plánu experimentů, přičemž musela být zachována podmínka odtavení stejného množství svarového kovu, stejně jako u experimentů s ostatními typy ochranných plynů.

Každý realizovaný experiment byl kompletně monitorován systémem Weld Monitor (kap. 2.5), a to jednak z důvodu zjištění skutečných svařovacích parametrů, tak i z důvodu následného zpracování a vyhodnocení. Sledována byla především rychlost podávání přídatného materiálu (drátu). Dosažením stejné rychlosti podávání drátu pro různé typy ochranných atmosfér byla dosažena podmínka o stejném množství odtaveného kovu.

Experimentální svary byly koncipovány jako koutové svary. Byly svařeny v poloze PA (poloha svařování byla vodorovná shora) do úžlabí, tak jak je naznačeno na obrázku 3.4. Pásnice a stojina byly vůči svařovacímu hořáku skloněny pod úhlem 45° . Také ve směru svařování nebyl hořák nijak vykloněn, a tudíž svíral se vzorkem úhel 90° . Osa hořáku směřovala přímo do kořene svaru. Z důvodu použití dostatečně vysokých svařovacích proudů nebylo třeba hořák vyosít ve směru pásnice z důvodu kompenzace nerovnoměrného odvodu tepla.



Obr. 3.4 Schéma polohy svařovacího hořáku vůči svařovanému vzorku

Pro experimenty uváděné v této bakalářské práci byl jako přídavný materiál použit drát OK Autrod 347Si od firmy ESAB o průměru 1 mm (kap. 3.3.2.1). Ochranná atmosféra byla tvořena směsným plynem **Inomaxx® Plus** složeném z 63% Ar, 35% He a 2% CO₂ (kap. 2.4).

3.3.2.1. Přídavný materiál

V rámci zkoumání vlivu různých typů ochranných směsných atmosfér byl pro všechny experimentální svary provedené metodou MIG použit drát OK Autrod 347Si od firmy ESAB o průměru 1 mm. Tento přídavný materiál se přednostně používá pro svařování vysokolegovaných austenitických ocelí využívaných především v potravinářském a strojírenském průmyslu. Pevnost v tahu tohoto materiálu dosahuje 640 MPa a mez kluzu se pohybuje okolo 440 MPa. V tabulce 3.2 je ukázáno chemické složení přídavného materiálu a v tabulce 3.3 jsou uvedeny doporučené svařovací parametry vhodné pro tento typ drátu a průměr 1 mm.

Tab. 3.2 Typické chemické složení čistého svarového kovu v %:

C	Si	Mn	Cr	P	Ni	S	Nb	Mo	N	Cu
0,04	0,7	1,7	19	0,03	9,8	0,02	0,6	0,1	0,08	0,1

Tab. 3.3 Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty dané výrobcem:

ø drátu [mm]	proud [A]	napětí [V]	rychlost podávání [m/min]	výkon navaření [kg/h]
1	80-240	15-28	3,5-18	1,3-6,7

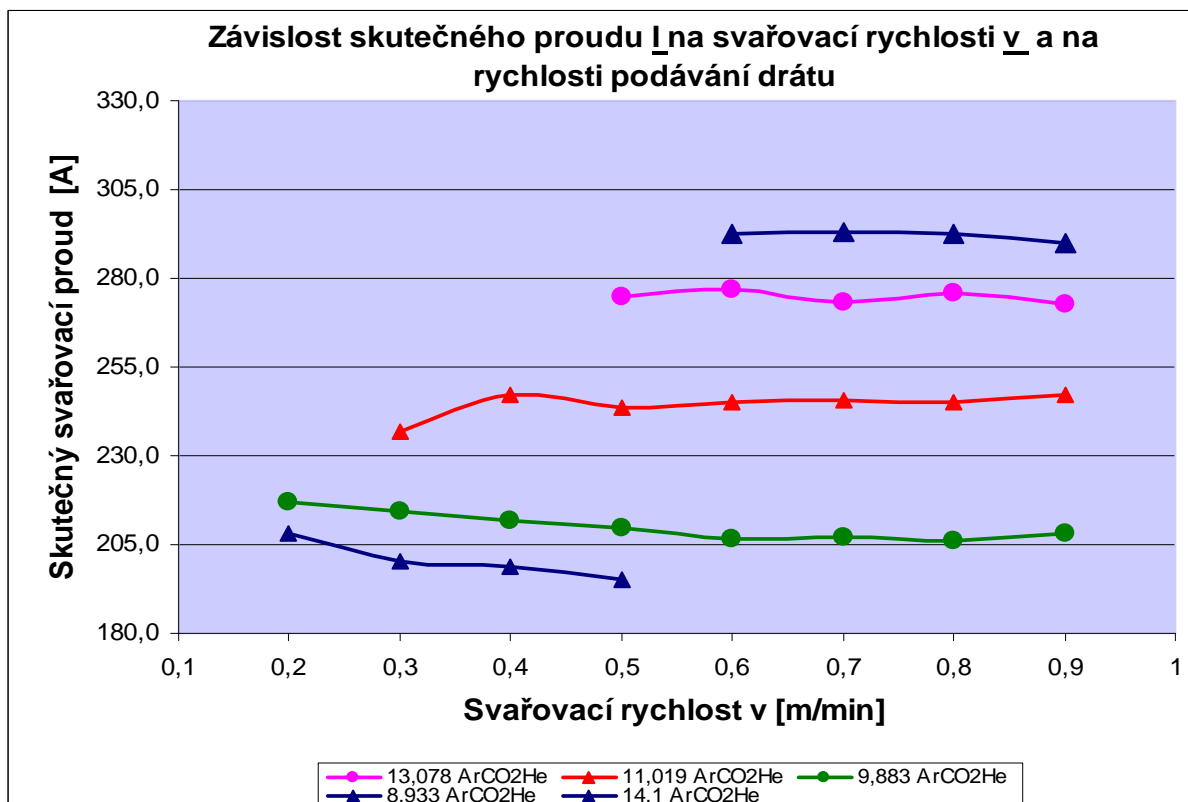
3.3.3. Monitorování svařovacích parametrů

Monitorizace svařovacích parametrů byla prováděna pomocí systému Weld Monitor (kap. 2.5). Schéma zapojení tohoto systému a seznam monitorovaných parametrů je v kapitole 3.2. Všechny zmiňované svařovací parametry byly monitorovány s frekvencí záznamu 25 kHz a ukládány do externího počítače. V tabulce 3.4 jsou uvedeny jak nastavené, tak i skutečné hodnoty monitorovaných veličin pro svary zhotovené přídavným drátem o průměru 1 mm a při použití ochranné směsi **Inomaxx® Plus**.

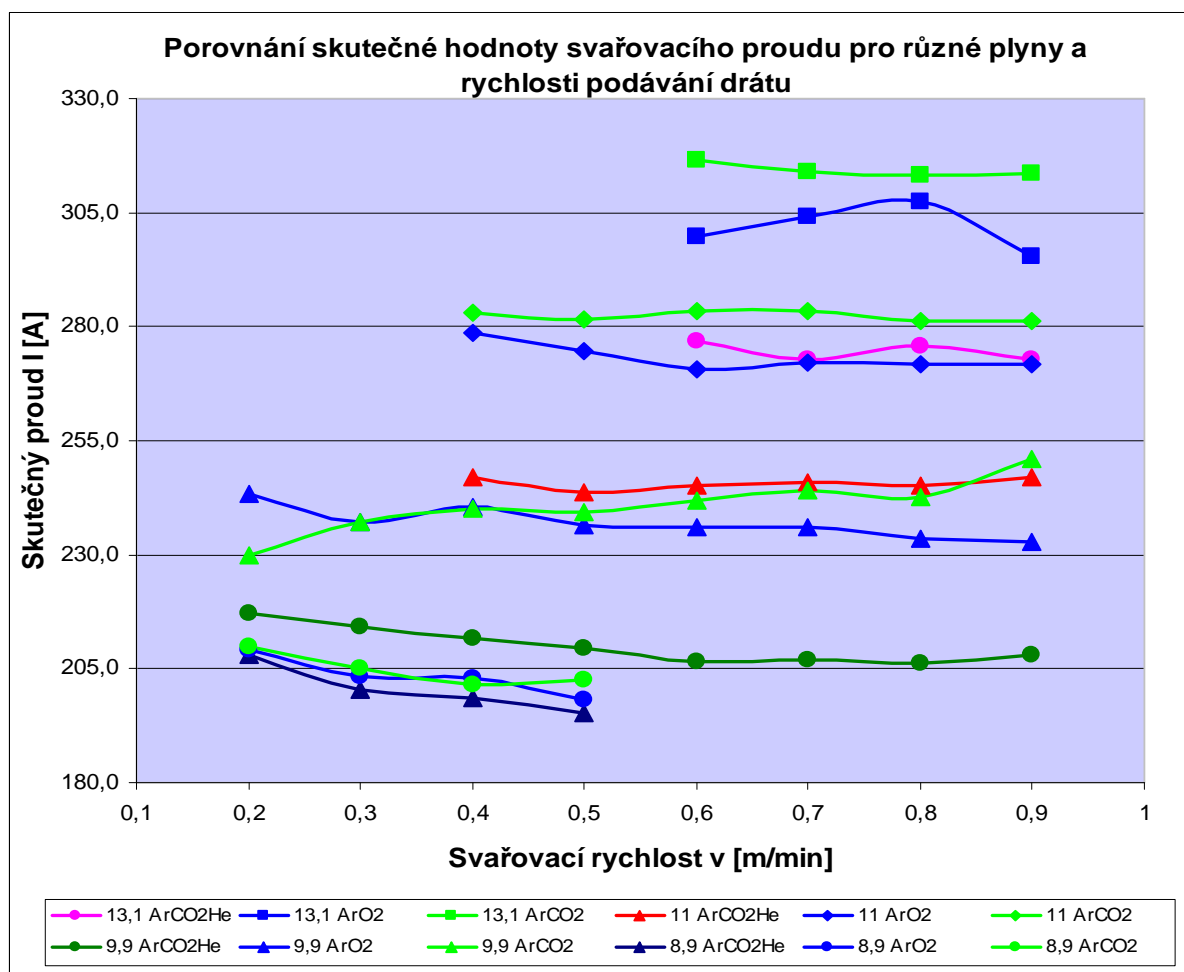
Tab. 3.4 Monitorované hodnoty veličin.

Svar	nast. svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	skutečný proud [A]	skutečná rychlost [m/min]	napětí [V]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	Délka svar. lázně [mm]
X4c004	230	0,6	292,5	0,6	26,2	14,131	1,81	27,36
X4c005	230	0,7	293,2	0,705	26,1	14,127	1,568	26
X4c006	230	0,8	292,7	0,805	26,1	14,132	1,333	25,3
X4c007	230	0,9	290,1	0,903	26,3	14,133	1,224	21,96
X4c003	220	0,5	274,7	0,499	25,8	13,167	2,284	27,53
X4c008	220	0,6	277	0,593	25,6	13,013	1,778	24,76
X4c009	220	0,7	273	0,702	25,8	13,036	1,506	22,46
X4c010	220	0,8	275,8	0,788	25,7	13,053	1,341	22,55
X4c011	220	0,9	272,8	0,884	25,8	13,059	1,068	20,73
X4c002	200	0,3	236,6	0,301	25,4	11,085	3,601	28,93
X4c001	200	0,4	247	0,402	24,9	11,051	2,373	27,31
X4c012	200	0,5	243,7	0,495	25	11,006	1,819	21,63
X4c013	200	0,6	245	0,598	24,9	11	1,365	20,2
X4c014	200	0,7	245,8	0,701	24,9	11,018	1,227	20,76
X4c015	200	0,8	245	0,798	24,9	11,016	1,042	18,31
X4c016	200	0,9	247,1	0,892	24,8	11,021	0,95	16,94
X4c017	180	0,2	217	0,207	22,9	9,878	3,108	26,42
X4c018	180	0,3	214,2	0,293	22,9	9,867	2,28	23,04
X4c019	180	0,4	211,7	0,397	22,8	9,863	1,874	20,36
X4c020	180	0,5	209,6	0,499	22,7	9,869	1,468	17,56
X4c021	180	0,6	206,7	0,606	22,8	9,875	1,256	16,78
X4c022	180	0,7	207,1	0,699	22,7	9,873	1,057	15,84
X4c023	180	0,8	206,1	0,795	22,7	9,883	0,937	15,57
X4c024	180	0,9	208,2	0,896	22,6	9,872	0,894	15,02
X4c025	160	0,2	207,9	0,204	19,1	8,933	3,107	18,79
X4c026	160	0,3	200,5	0,3	19,2	8,949	2,148	16,51
X4c027	160	0,4	198,5	0,403	19,1	8,957	1,628	13,47
X4c028	160	0,5	195,2	0,503	19,1	8,954	1,258	13,43

Na obrázku 3.5. je vidět grafické zpracování naměřených údajů z tabulky 3.4 v systému skutečná svařovací rychlost – skutečný svařovací proud. Jednotlivé závislosti jsou získány vždy pro určitou danou rychlost podávání drátu. Jak je vidět z legendy, jednalo se o rychlost podávání drátu 8,9; 9,9; 11,0 a 13,1 m.s⁻¹. Z obrázku je zřejmé, že vliv rychlosti svařování při daných hodnotách rychlosti podávání drátu je pro ochranný plyn Inomaxx® Plus z hlediska hodnoty svařovacího proudu téměř zanedbatelný.



Obr. 3.5 Grafické vyhodnocení závislosti skutečného svařovacího proudu na rychlosti svařování pro různé hodnoty rychlosti podávání drátu



Obr. 3.6 Porovnání závislosti skutečného svařovacího proudu na rychlosti svařování pro různé hodnoty rychlosti podávání drátu a různé druhy ochranných plynů.

Na obrázku 3.6 je grafické porovnání závislosti skutečného svařovacího proudu na rychlosti svařování pro různé hodnoty rychlosti podávání drátu a pro ochranné směsné plyny **Inomaxx® Plus**, **Inomaxx®2**, **Euromix M13**. Experimentální svary s plyny **Inomaxx®2** a **Euromix M13** byly realizovány v rámci řešení grantového projektu GAČR 101/09/P176.

Jednotlivé druhy ochranných plynů jsou barevně rozlišeny (červená pro ArCO₂He, modrá pro ArO₂, zelená ArCO₂), rychlosti podávání drátu jsou vyznačeny různými geometrickými tvary bodů. Z obrázku 3.6 je zřejmé, že při použití směsi Ar + CO₂ + He je možné odtavit stejné množství přídavného materiálu při použití mnohem nižších hodnot svařovacího proudu. Tyto hodnoty svařovacího proudu jsou až o 12% nižší oproti svařování s ochrannou směsí plynu Ar + O₂ a až o 15% nižší oproti svařování s ochrannou směsí plynu Ar + CO₂.

V tabulce 3.5 je pro porovnání uvedeno složení jednotlivých typů směsných plynů využitých při experimentech.

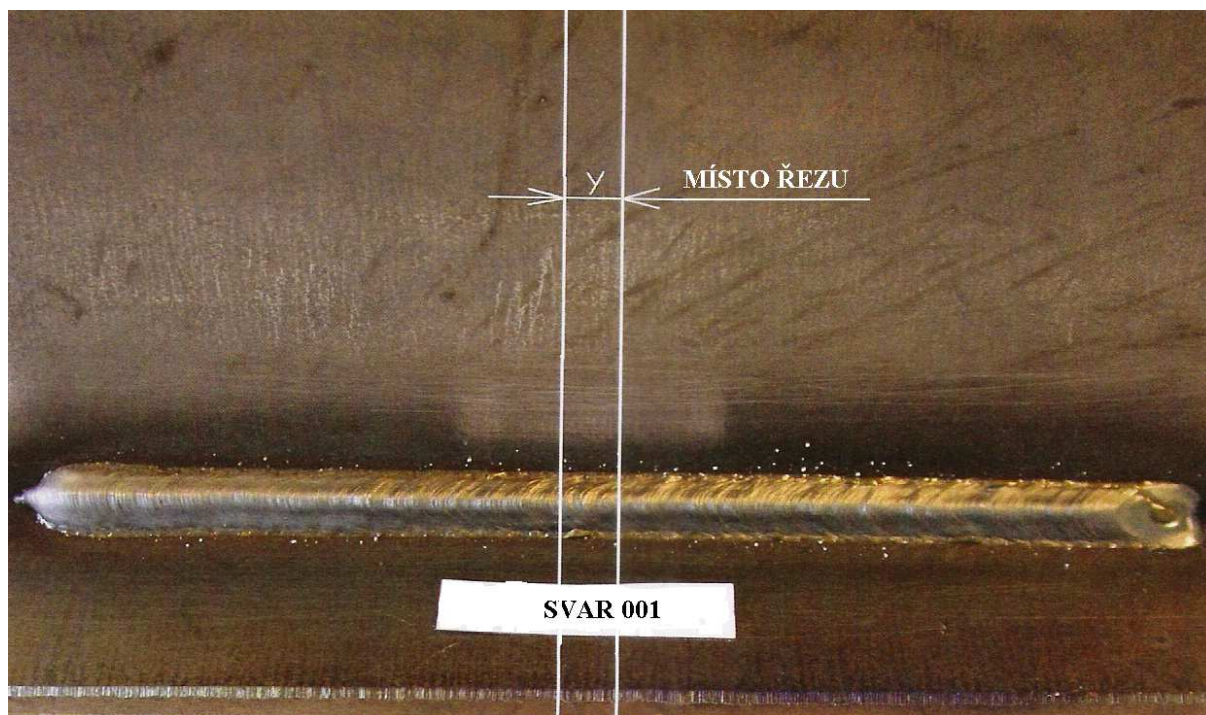
Tab. 3.5 Složení jednotlivých ochranných plynů

	Ar [%]	CO2 [%]	O2 [%]	He [%]	označení
Inomaxx[®] 2	98	2	0	0	ArCO2
Euromix M13	98	0	2	0	ArO2
Inomaxx[®] Plus	63	2	0	35	ArCO2He

3.4. Metalografické zpracování a geometrické vyhodnocení svarové lázně

Dalším úkolem při řešení bakalářské práce, bylo zjištění vlivu ochranné atmosféry na rozměry a tvar svarové lázně. Svařované vzorky proto bylo třeba podrobit rozměrové analýze ve směru kolmém na směr svařování. Jak již bylo popsáno v kapitole 3.2, nejprve došlo k oddělení přebytečných částí plechů (tak jak je schematicky znázorněno na obr. 3.3). Tato operace je nutná pro následný odběr vzorků pro metalografické výbrusy. Protože tento typ materiálu není možné dělit kyslíko-acetylenovým plamenem a plazmu katedra strojírenské technologie nevlastní, byly přebytečné části odděleny mechanicky rozbrušováním řezným kotoučem.

Vzorky pro metalografické zpracování byly odebrány uprostřed svarů (obr. 3.7), protože zde se již jednalo o ustálené teplotní pole a tudíž i průřez svaru by měl být v těchto místech konstantní. Výška odebíraného vzorku se pohybovala v rozmezí 16 – 18 mm s ohledem na snížení spotřeby hmoty Dentacryl, použité k zalití vzorku. Vzorky byly získány dělením na rozbrušovací kotoučové pile Delta AbrasiMet s vodním chlazením.



Obr. 3.7 Schematické naznačení místa odběru vzorků pro metalografický výbrus.[4]

Po odstranění otřepů a odmaštění byly vzorky zality do formiček průměru 30 mm a po časové prodlevě nutné pro vytvrzení pryskyřice byl vzorek připraven pro metalografické zpracování.

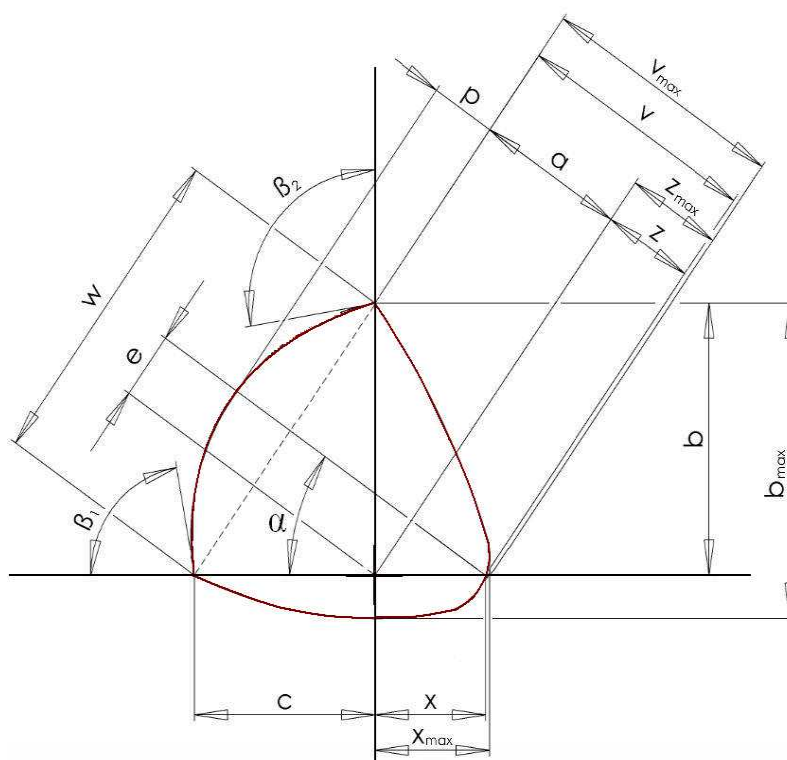
Pod tímto pojmem je možné si představit broušení, leštění a následně naleptání vzorků. Samotné broušení a leštění probíhalo v metalografické laboratoři na brusce a leštičce Phoenix 4000. Broušení se realizovalo pomocí 4 různých brusných papírů se zrnky z karbidu křemíku, lišících se velikostí zrn. Byly použity brusné papíry s označením drsnosti 120, 240, 400, 800 μm . Pro leštění bylo použito smáčedla pro diamantové suspenze Metadi fluid a diamantová suspenze se zrnky o velikosti 3 μm .

Poslední operací přípravy vzorků bylo leptání. Vzorky byly leptány leptadlem s obchodním označením Vogel. Jednalo se o směs 18 ml kyseliny dusičné HNO_3 , 180 ml kyseliny chlorovodíkové HCl a 180 ml vody H_2O . Vysokolegované materiály se leptají v leptadle ohřátém na 80 až 90°C. Z důvodu absence zařízení pro ohřev leptadla Vogel a z důvodu bezpečnosti, byly vzorky leptány za pokojové teploty 20° C. Z tohoto důvodu bylo třeba prodloužit dobu leptání na 4 minuty, aby došlo alespoň k částečnému zviditelnění obrysu svarové lázně.

3.4.1. Geometrické vyhodnocení svarové lázně

V experimentální části bylo vyhodnocováno celkem 28 svarů. V následující kapitole je pro ukázkou popsán postup a geometrického vyhodnocení pouze pro jeden vybraný svar. Vyhodnocení pro ostatní svary je uvedeno v tabulce 3.8 a zároveň v grafické formě v příloze.

Všechny vzorky byly nejprve nasnímány digitální kamerou Nikon digital sight připojené k optickému mikroskopu Neophot 21. Snímky byly pořízeny s desetinásobným zvětšením. Vlastní geometrické vyhodnocení proběhlo v programu NIS Elements AR 2.30. Na obr. 3.8 jsou znázorněny měřené rozměry, které se zjišťovaly v rámci rozměrové analýzy svaru. Celkem se jednalo o 16 geometrických údajů využitelných pro popis geometrie svarové lázně, ale také pro hodnocení kvality svaru dle normy ČSN EN ISO 5817. Mimo těchto rozměrů byla hodnocena i celková plocha svaru P_c , plocha převýšení svaru P_n a plocha tvořená přídavným materiálem P_Δ .

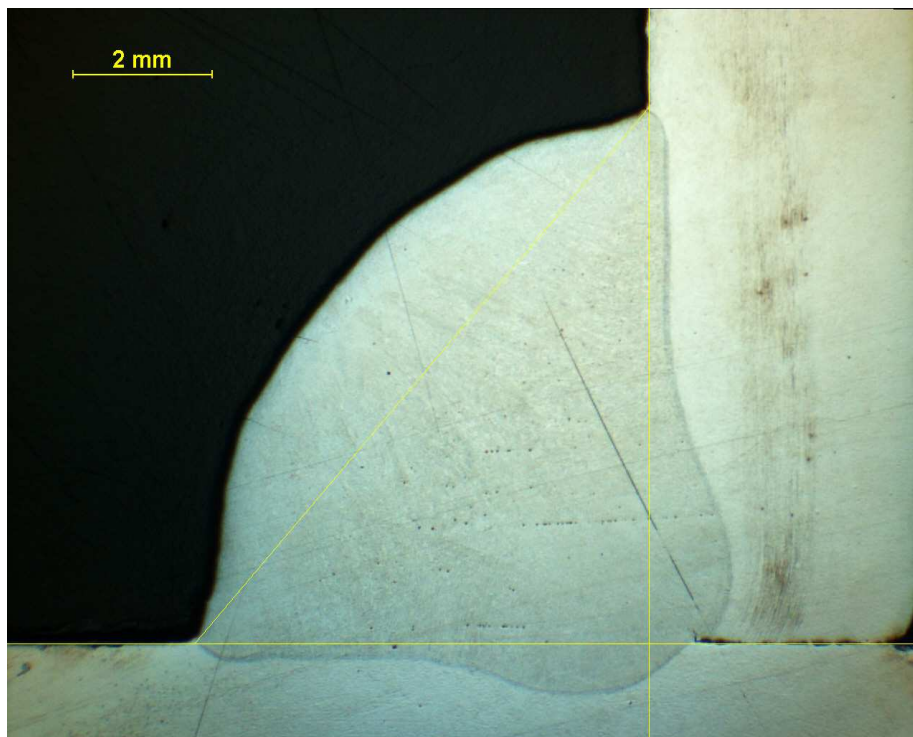


Obr. 3.8 Měřené geometrické rozměry svarové lázně

3.4.2. Příklad postupu při vyhodnocování vzorku X4c025

Jak již bylo řečeno, z důvodu většího rozsahu experimentální části, bude v následující kapitole podrobně popsán pouze postup vyhodnocení pro svařovaný vzorek X4c025. Ostatní vzorky byly vyhodnoceny stejným postupem. Výsledky vyhodnocení vzorků jak z pohledu svařovacích parametrů, tak i z hlediska geometrie svarové lázně a vyhodnocení podle normy ČSN EN ISO 5817 jsou uvedeny v příloze.

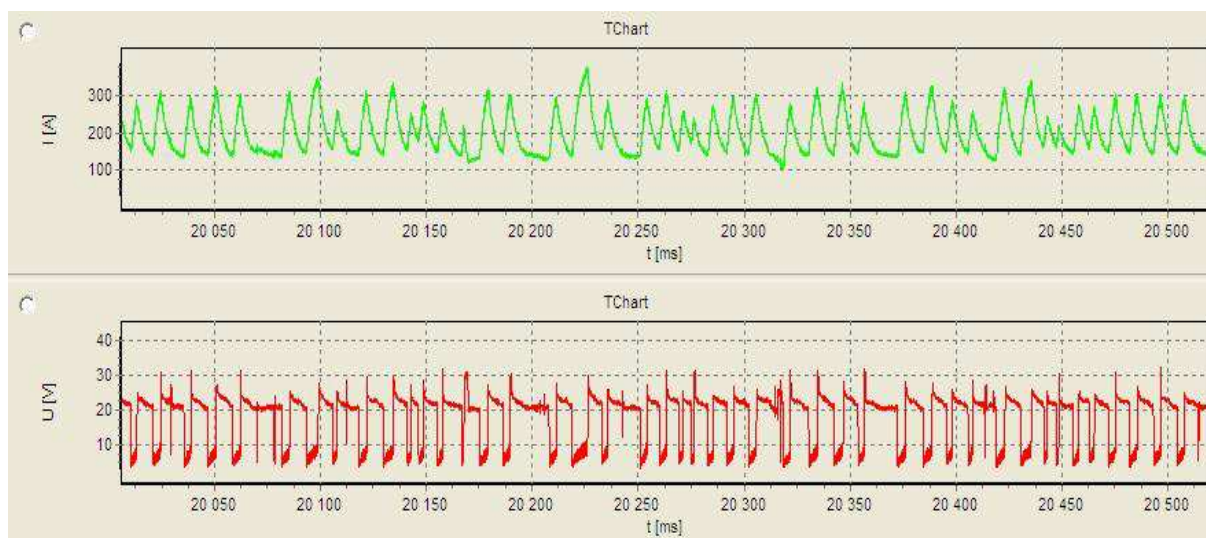
Svar X4c025 byl vyhotoven podle plánu experimentů (tab. 3.1), při nastavovaném svařovacím proudu $I = 160\text{A}$ a svařovací rychlostí $v = 0,2\text{ m/min}$. Průměr svařovacího drátu byl 1 mm stejně jako pro všechny ostatní svary. Na obr. 3.9 je metalografický výbrus svaru X4c025 se zvýrazněným žlutým trojúhelníkem definujícím ideální oblast svaru tvořenou přídavným materiálem. V tabulce 3.6 jsou uvedeny skutečné hodnoty svařovacích parametrů získané pomocí systému Weld Monitor. Na obrázku 3.10 je detailní grafický záznam skutečného svařovacího proudu a napětí. Ze záznamu je zřejmé, že nastavené svařovací parametry již zasahují do přechodové oblasti přenosu kovu do materiálu. To se týká všech svarů experimentálně provedených v ochranné atmosféře plynu **Inomaxx® Plus** při rychlosti podávání drátu $8,9\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. U svarů s rychlostí podávání drátu $9,9\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ je zřejmé, že svařovací parametry se pohybují na hranici mezi bezzkratovou a přechodovou oblastí a u vyšších hodnot rychlosti podávání drátu se již jedná o čistě bezzkratovou oblast.



Obr. 3.9 Metalografický výbrus svaru X4c025

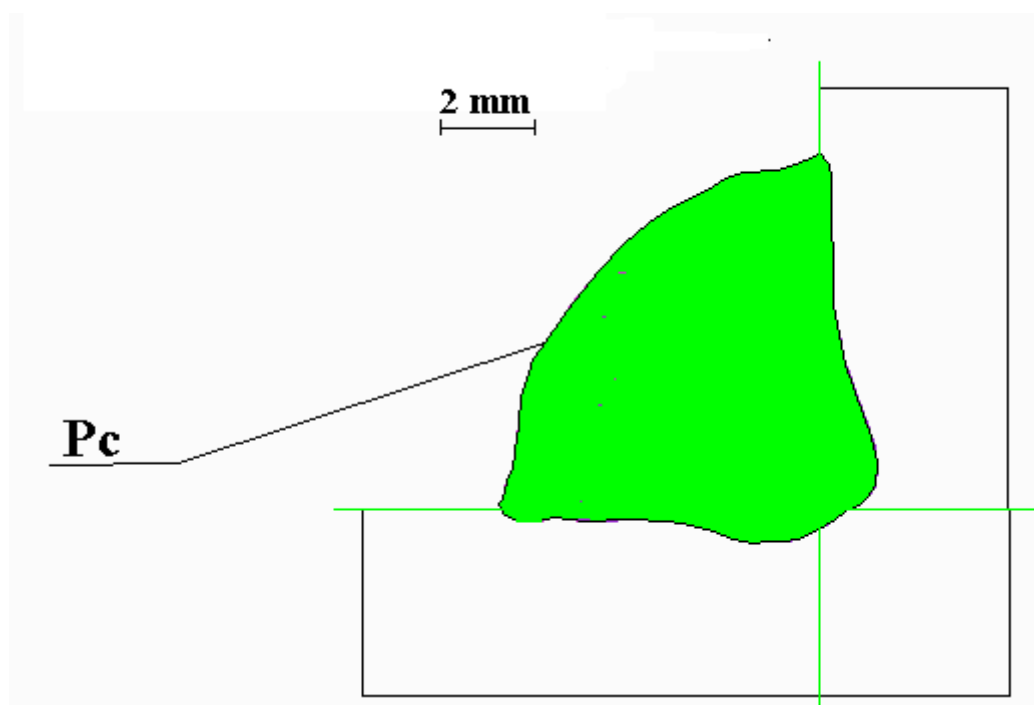
Tab. 3.6 Skutečné průměrné hodnoty monitorovaných veličin pro svar X4c025.

Svar	nastavený proud [A]	nastavená rychlost [m/min]	čas [s]	proud [A]	napětí [V]	tepelný příkon [kJ/mm]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	svařovací rychlost [m/min]	průtok plynu [l/min]
X4c025	160	0,2	38	207,9	19,1	1,1679	8,933	3,107	0,204	22

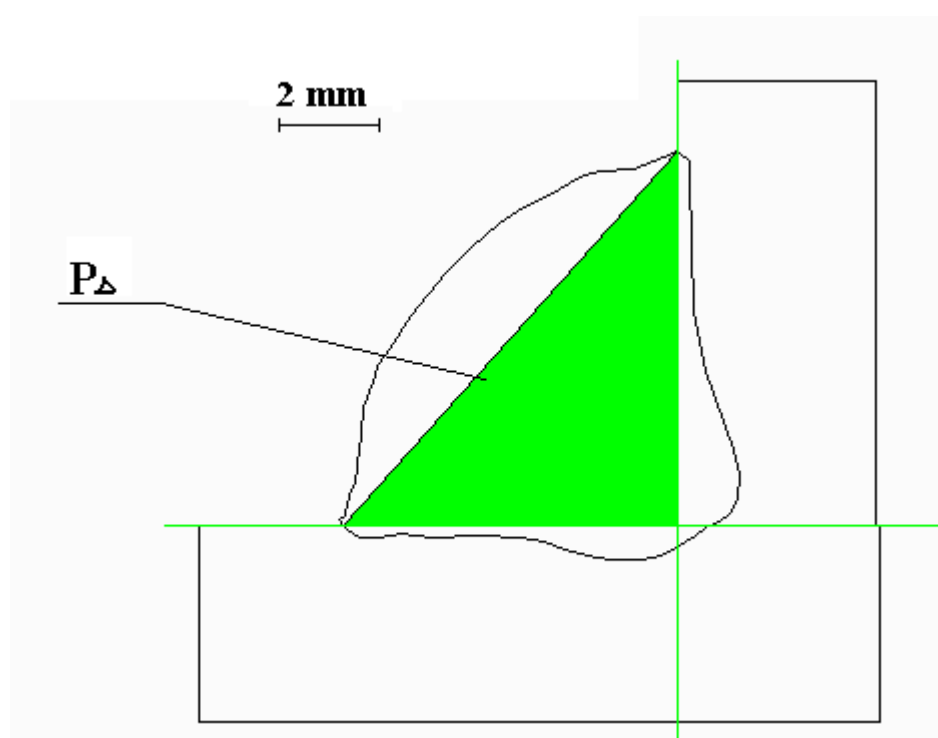


Obr. 3.10 Záznam z UI laboratoře programu Weld Monitor – vzorek X4c025

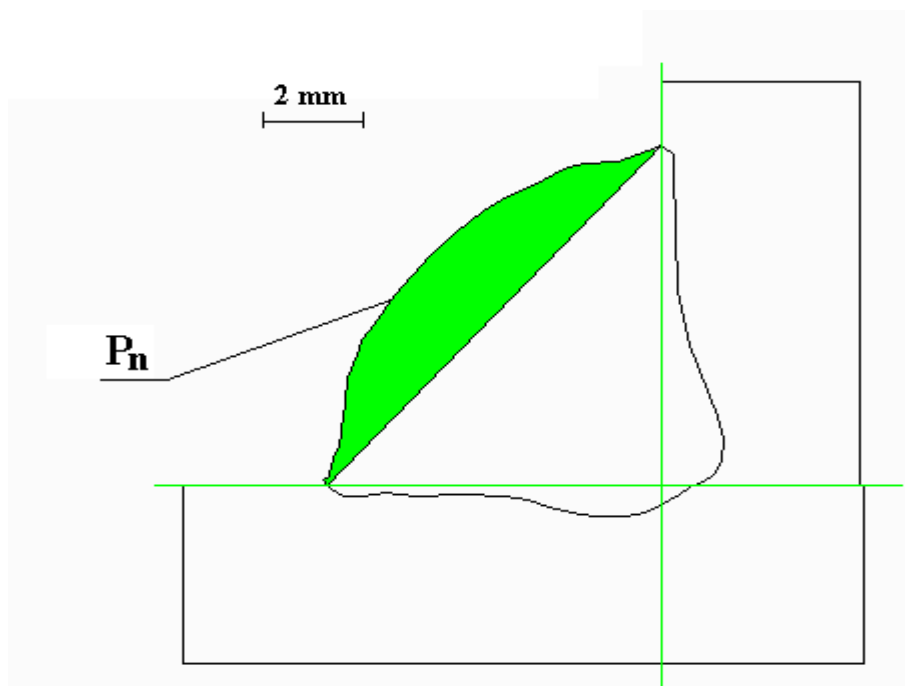
Na obrázcích 3.11, 3.12 a 3.13 jsou zelenou barvou znázorněny jednotlivé měřené plochy svaru. Jedná se o celkovou velikost svarové lázně P_c (obr. 3.11), nosnou plochu svaru danou přídavným materiálem P_Δ (obr. 3.12) a o plochu převýšení P_n (obr. 3.13). Snahou při stanovení postupu svařování je, aby plocha převýšení P_n byla u výsledného svaru co možná nejmenší. Součtem ploch P_n a P_Δ je dána plocha svaru tvořená pouze přídavným materiálem. Na základě této plochy a rychlosti svařování je možné stanovit rychlost podávání drátu.



Obr. 3.11 Celková plocha svarové lázně P_c .



Obr. 3.12 Nosná plocha svaru P_Δ .



Obr. 3.13 Plocha návaru P_n

Kompletní výsledky rozměrové analýzy experimentálního svaru X4c025 definované na obrázcích 3.9, 3.11, 3.12 a 3.13 jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Tab. 3.7 Souhrn všech výsledků rozměrové analýzy experimentálního svaru X4c025.

x [mm]	0,6654	a [mm]	4,8494
x_{\max} [mm]	1,2323	b [mm]	7,2312
v [mm]	5,3555	b_{\max} [mm]	7,9333
v_{\max} [mm]	5,3555	c [mm]	6,5557
α [°]	42,41	e [mm]	0,459
β_1 [°]	102,94	p [mm]	1,735
β_2 [°]	105,48	w [mm]	9,7626
P_c [mm²]	41,484	z [mm]	0,5061
P_Δ [mm]	23,573	z_{\max} [mm]	0,5061
P_n [mm]	11,197	L	18,79

3.5. Geometrické vyhodnocení svařených vzorků

Při rozměrové analýze bylo u každého svaru vyhodnoceno celkem 20 rozměrových údajů. Pro grafické vyhodnocení zkoumaných vzorků bylo však použito pouze šesti nejdůležitějších geometrických údajů. Jedná se o velikost koutového svaru **a**, celkovou velikost hloubky protavení **v_{max}**, šířku svarové lázně **w**, celkovou plochu svaru **P_c**, plochu tvořenou roztaveným přídavným materiálem **P_Δ + P_n** a celkovou délku svarové lázně **L**.

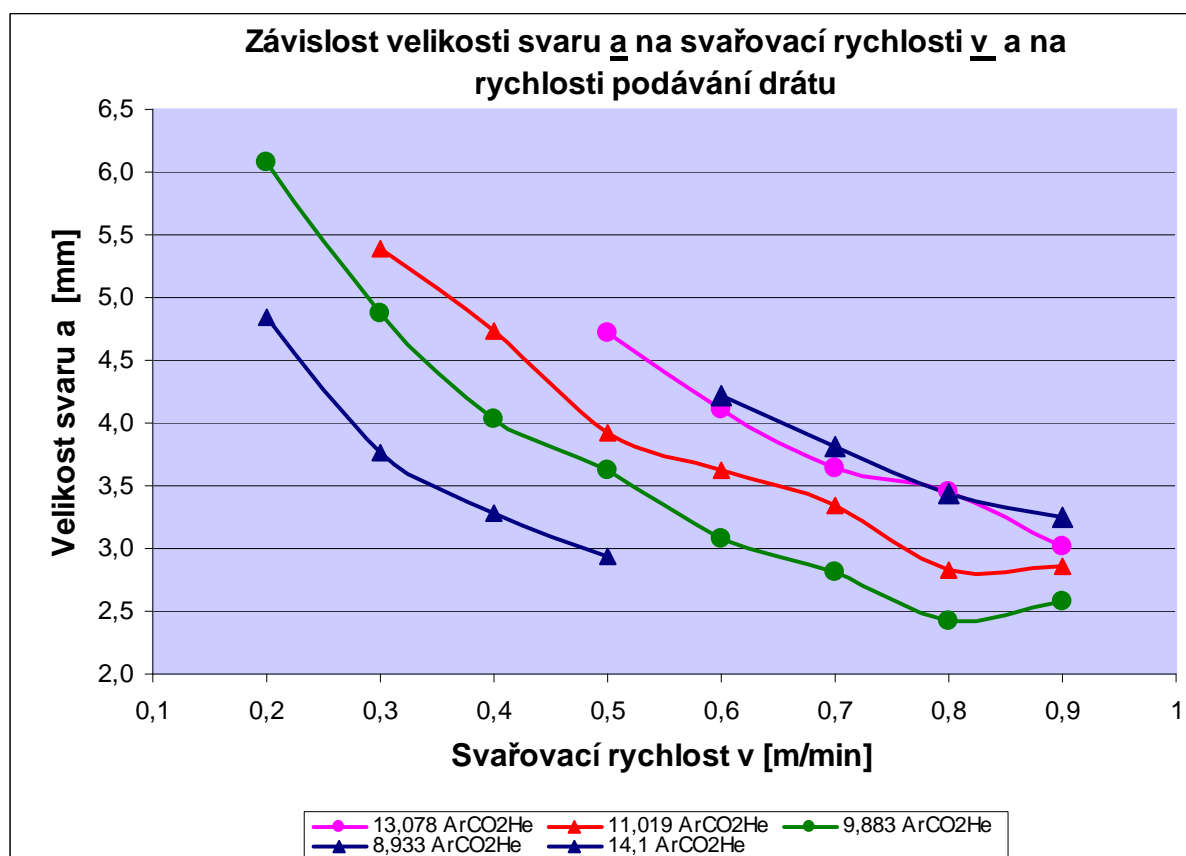
Kromě těchto šesti měřených údajů jsou pro všechny svařené vzorky v tabulce 3.8 uvedeny i ostatní geometrické parametry: **a**, **b**, **c**, **e** dále úhel **α** definující asymetrii koutového svaru, velikost převýšení **p** a úhly **β₁** a **β₂**. Všechny výše zmíněné údaje jsou neméně důležité a umožňují určení stupně jakosti koutového svaru podle normy ČSN EN ISO 5817.

Všechny délkové hodnoty byly měřeny s přesností na čtyři desetinná místa, veškeré plochy s přesností na tři desetinná místa a úhly s přesností na dvě desetinná místa v programu NIS Elements AR 2.30.

Tab.3.8 Naměřené hodnoty pro všechny svařené vzorky.

SVAR	a[mm]	b[mm]	c[mm]	e[mm]	p[mm]	w[mm]	v[mm]	v _{max} [mm]	α[°]	β ₁ [°]	β ₂ [°]	P _c [mm ²]	P _Δ + P _n [mm ²]	L[mm]
X4c001	4,7308	6,7275	6,6349	0,1182	0,1474	9,4376	5,7307	7,5991	44,53	148,90	134,45	41,527	22,68	27,36
X4c002	5,3868	7,5843	7,6825	0,0239	0,3200	10,7728	6,2391	7,0929	45,56	135,20	134,60	52,203	29,626	26
X4c003	4,7147	6,5371	6,7937	0,1115	0,2888	9,4339	5,4352	7,4840	45,46	136,00	134,00	41,361	23,376	25,28
X4c004	4,2167	6,0452	5,9524	0,0734	0,2973	8,5063	5,0859	8,4588	44,14	134,90	134,10	39,753	19,021	21,96
X4c005	3,8174	5,4899	5,3770	0,0426	0,3530	7,6504	4,7527	7,3284	45,68	134,60	136,30	32,258	15,96	27,53
X4c006	3,4339	4,8870	4,8151	0,0698	0,5835	6,8585	4,3878	6,6327	44,88	124,16	135,20	29,234	13,711	24,76
X4c007	3,2470	5,1144	4,3651	0,6328	0,4984	6,5709	4,5141	6,1809	40,12	120,66	132,29	25,522	12,304	22,46
X4c008	4,1141	5,9274	5,7143	0,1176	0,3101	8,2388	5,0710	7,4597	44,52	132,01	137,46	34,871	18,150	22,55
X4c009	3,6367	6,0029	4,5565	1,0220	0,3500	7,5367	5,1367	6,4459	37,18	120,68	138,21	29,521	14,986	20,73
X4c010	3,4499	4,7997	4,9683	0,1727	0,5180	6,8971	4,2797	6,2311	46,69	127,56	126,57	26,052	13,408	28,93
X4c011	3,0232	5,3881	3,6251	1,2045	0,4061	6,5032	4,8492	5,6619	34,01	114,73	139,20	23,421	11,189	27,31
X4c012	3,9238	5,7755	5,3810	0,1980	0,2194	7,9170	5,0618	6,6930	43,31	135,34	141,43	32,274	16,23	21,63
X4c013	3,6226	5,5928	4,7187	0,6273	0,2653	7,3244	4,6417	6,0586	40,21	125,36	139,00	27,186	14,192	20,2
X4c014	3,3501	5,2486	4,3499	0,6227	0,3103	6,8082	4,2332	5,8213	39,77	125,05	139,55	24,038	12,285	20,76
X4c015	2,8219	5,6109	3,2707	1,5849	0,3480	6,5030	4,5313	5,1182	30,41	113,78	144,65	20,572	10,269	18,31
X4c016	2,8539	4,5114	3,6809	0,5831	0,3010	5,8222	4,0373	5,0034	39,42	126,81	138,69	18,655	9,26	16,94
X4c017	6,0796	8,5370	8,4410	0,1059	0,0000	11,8661	6,8953	6,9870	44,17	133,85	134,81	54,231	36,996	26,42
X4c018	4,8796	7,5694	6,3955	0,7560	0,4348	9,9057	5,7120	5,9769	40,49	126,79	134,38	40,289	25,719	23,04
X4c019	4,0310	6,8094	5,0109	1,2594	0,5147	8,4565	4,8784	4,9483	36,50	126,32	136,55	20,402	18,872	20,36
X4c020	3,6303	5,8208	4,6467	0,8365	0,3375	7,4598	4,5638	4,7156	38,20	125,16	137,81	34,286	14,528	17,56
X4c021	3,0829	5,4289	3,7461	1,0602	0,3750	6,5889	4,0591	4,2984	35,28	122,67	140,08	20,249	11,038	16,78
X4c022	2,8139	5,5050	3,2575	1,5136	0,3721	6,4025	3,6641	3,6641	30,95	114,78	142,73	18,358	9,961	15,84
X4c023	2,4158	5,5229	2,7125	1,8875	0,3864	6,1219	3,3403	3,3403	25,69	108,98	145,91	15,810	8,385	15,57
X4c024	2,5728	4,8707	3,0349	1,2346	0,3014	5,7565	3,5015	3,5823	32,42	117,47	144,08	14,690	8,084	15,02
X4c025	4,8494	7,2312	6,5557	0,4590	1,7350	9,7626	5,3555	5,3555	42,41	102,94	105,48	41,484	31,123	18,79
X4c026	3,7653	6,8857	4,5136	1,6512	1,3263	8,2123	4,0930	4,2178	33,10	102,97	122,25	26,942	21,605	16,51
X4c027	3,2822	6,2482	3,8797	1,6163	1,1168	7,3559	3,4979	3,5875	31,97	100,87	127,72	20,835	16,487	13,47
X4c028	2,9446	5,4404	3,5327	1,3169	1,0482	6,4961	3,2132	3,2878	33,19	104,63	126,75	16,572	12,918	13,43

Na obrázku 3.14 je grafické vyhodnocení závislosti velikosti koutového svaru **a** na rychlosti svařování, pro rychlosti podávání drátu 8.9, 9.9, 11.0, 13.1 a 14.1 m.min⁻¹. Ze záznamů je vidět, že se zvyšující se rychlostí svařování se velikost koutového svaru snižuje, což je logické. Toto snížení by mělo mít v ideálním případě přímkový charakter, neboť se jedná o lineární závislost. Odchylky od linearity jsou způsobeny nesymetričností svarů (tab. 3.8 – parametry **b**, **c**). Tato asymetrie je dána především poměry odvodu tepla v koutových svarech, kdy pásnicí je odváděno mnohem více tepla. Z tohoto důvodu dochází k vyosení svaru ve směru pásnice. Velikost asymetrie navíc souvisí s množstvím tepla vneseného na jednotku délky. Čím větší jsou hodnoty vneseného tepla na jednotku délky svaru, tím menších asymetrií svaru je dosaženo. Proto se zvyšující se rychlostí svařování zároveň roste asymetrie svaru. Velikost nerovnoměrnosti svaru lze eliminovat buď vyosením svařovacího hořáku ve směru pásnice, nebo příklonem svařovacího hořáku ke stojině. Zajímavé také je, že u rychlostí podávání drátu 13,1 a 14,1 není téměř žádný rozdíl ve velikosti koutového svaru.

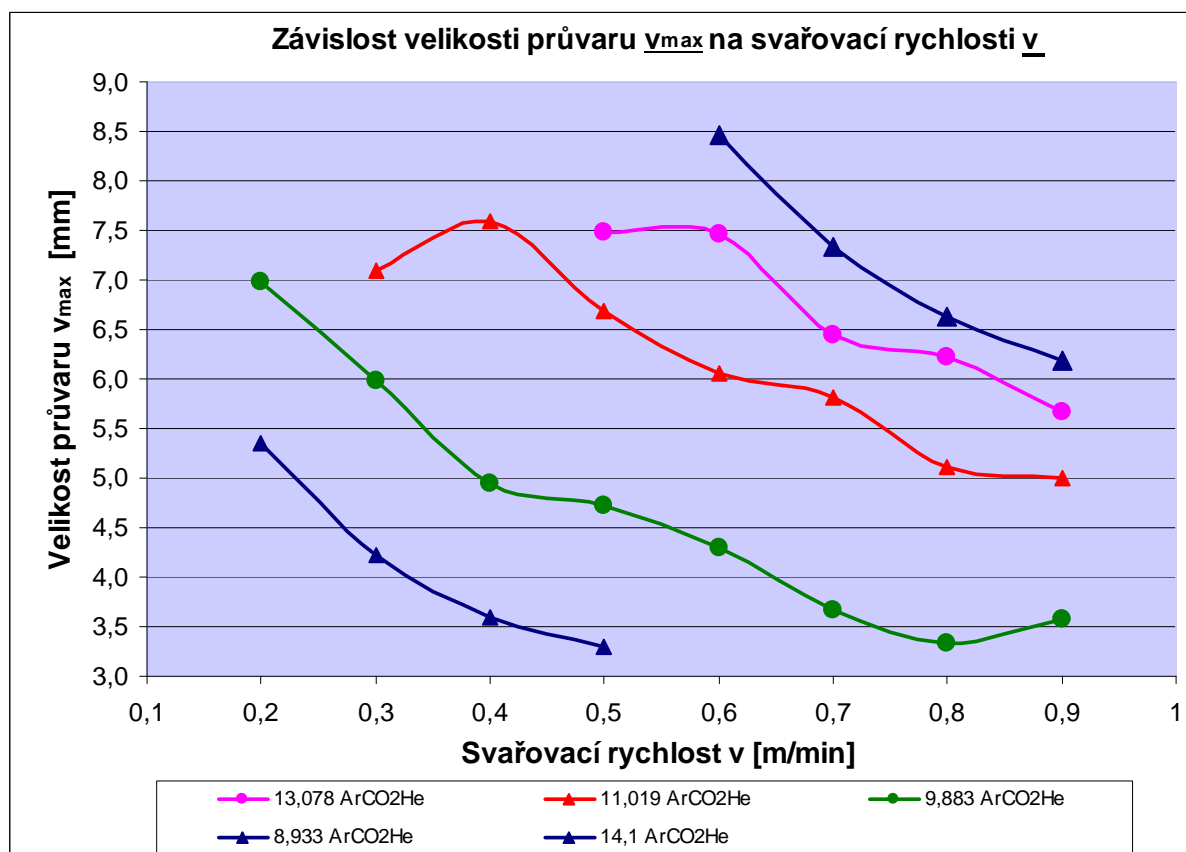


Obr. 3.14 Grafické vyhodnocení závislosti velikosti koutového svaru **a** na svařovací rychlosti

Na obrázku 3.15 je grafické vyhodnocení závislosti maximální hloubky protavení v_{\max} na rychlosti svařování, pro rychlosti podávání drátu 8.9, 9.9, 11.0, 13.1 a 14.1 m.min⁻¹.

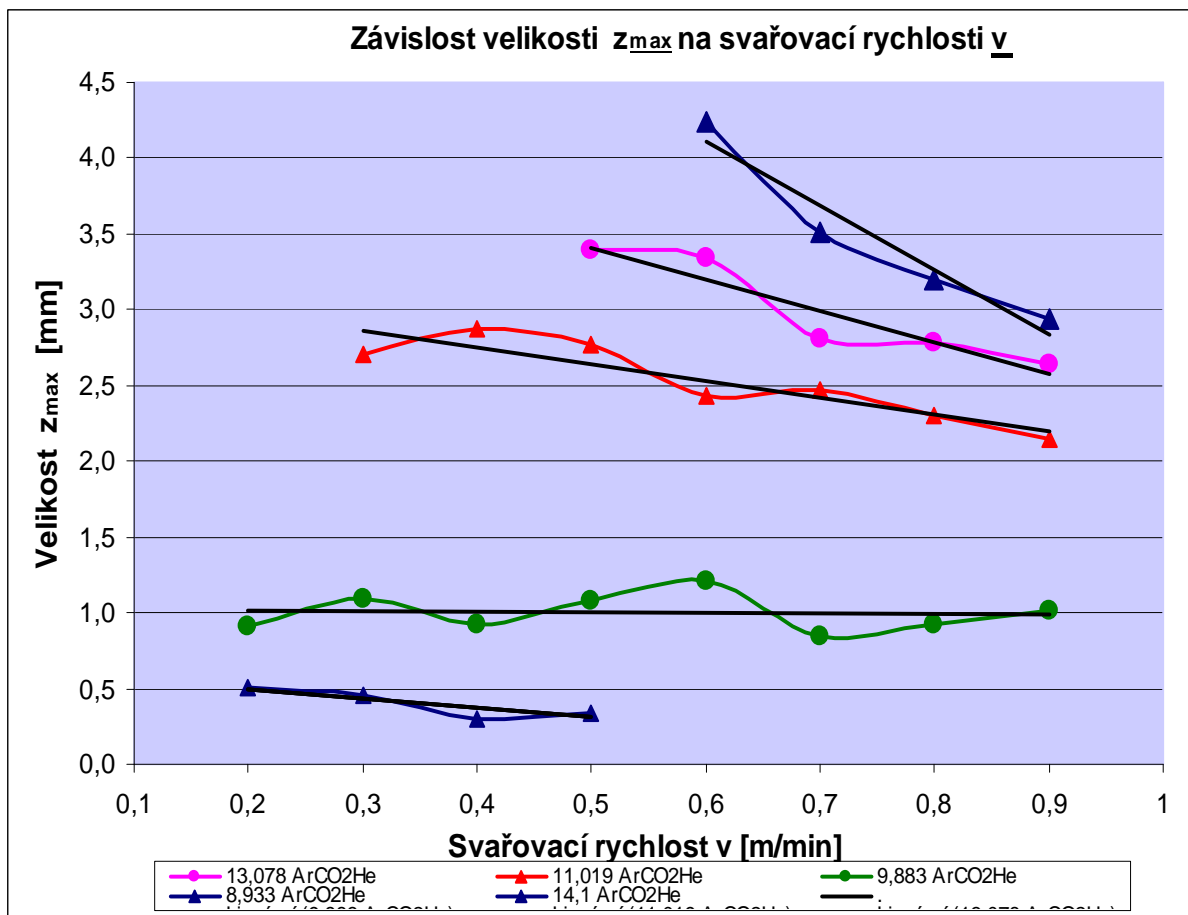
Ze záznamů je vidět, že i v případě maximální hloubky protavení se zvýšením rychlosti svařování hloubka protavení klesá. I v tomto případě mají získané křivky tendenci lineárního poklesu. Podle zjištěných průběhů se zdá, že rychlost podávání drátu nemá na strmost klesání vliv.

V případě uvažování pouze vlivu protavení, tedy rozměru svaru označeného z_{\max} (obr. 3.8), kdy je od celkové hloubky protavení v_{\max} odečtena velikost koutového svaru a , se získané závislosti změní. Jak je vidět na obrázku 3.16, vliv rychlosti podávání drátu se zde již projeví změnou strmosti klesání jednotlivých získaných závislostí. Tento trend se ještě více projeví, je-li získanými závislostmi proložena regresní přímka. U vyšších hodnot rychlosti podávání drátu je vliv rychlosti svařování velice zřetelný. U nižších hodnot rychlosti podávání drátu je však již možné vliv rychlosti svařování zanedbat. U plynu **Inomaxx® Plus** strmost klesání souvisí i s typem přenosu kovu do materiálu. Zatímco ještě při rychlosti podávání drátu $11,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je způsob přenosu bezzkratový, při rychlosti podávání drátu $9,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ se již dostáváme do přechodové oblasti a u rychlosti podávání drátu $8,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je již způsob přenosu kovu na hranici přechodová oblast – zkratová oblast.

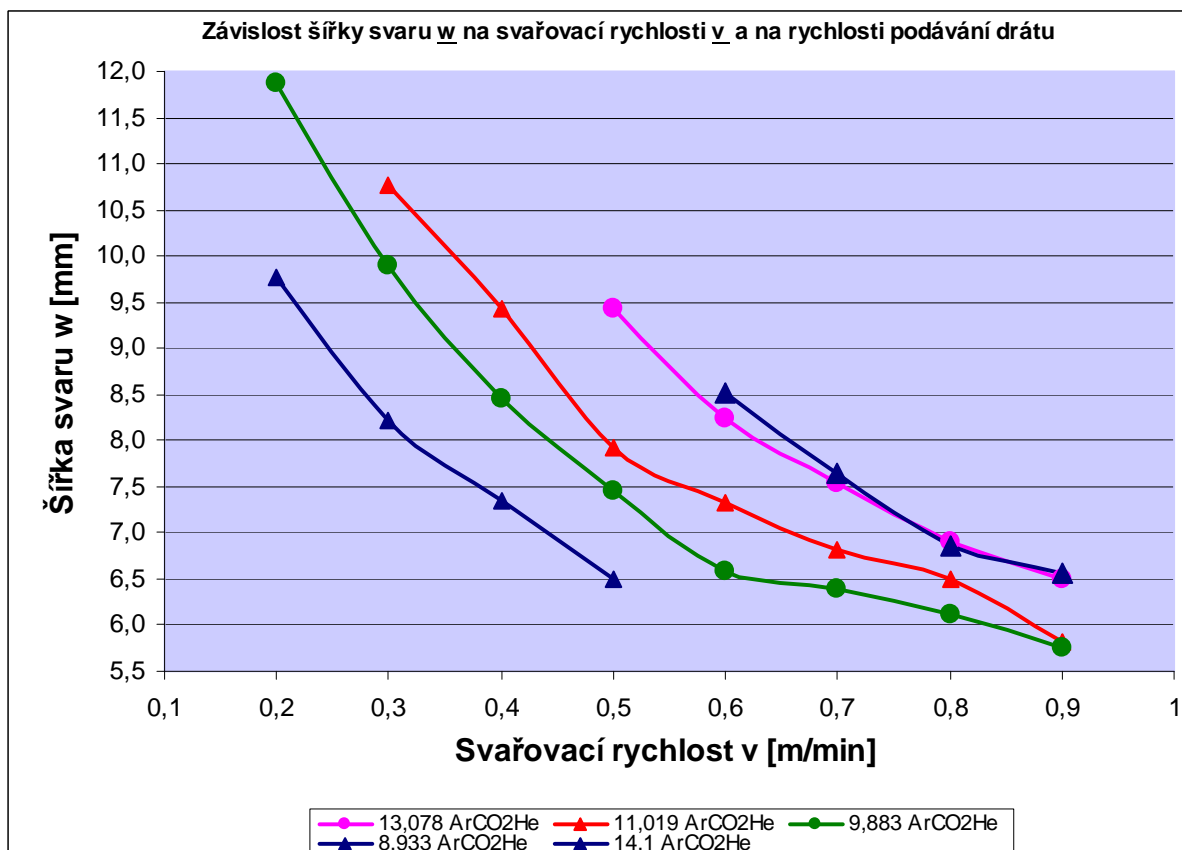


Obr. 3.15 Závislost velikosti maximální hloubky protavení v_{\max} na svařovací rychlosti v .

Závislost šířky svaru na rychlosti svařování pro různé rychlosti podávání drátu je ukázáno na obrázku 3.17. Z průběhů křivek je zřejmé, že se vliv rychlosti svařování na šířce svaru projevuje poměrně výrazně. Zajímavé je také, že všechny křivky mají podobný směr klesání.



Obr. 3.16 Závislost velikosti z_{\max} na svařovací rychlosti v .

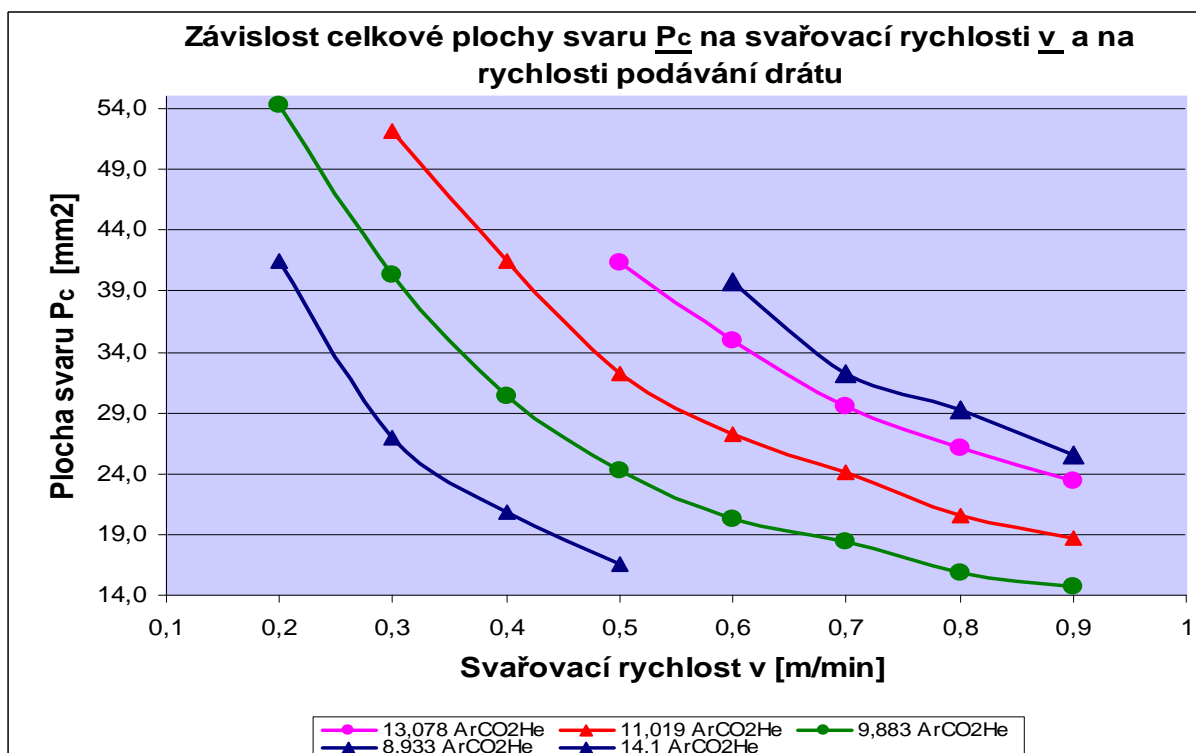


Obr. 3.17 Závislost šířky svaru w na svařovací rychlosti v .

Mimo to se u parametru w začíná projevovat vliv rozdílného způsobu odvodu tepla u koutových svarů. Tento trend se projevuje nesymetričností svaru daného geometrickými parametry b a c především u vyšších rychlostí svařování a u nižších hodnot svařovacího proudu, tedy i u nižších hodnot rychlosti podávání drátu. Proto je možné konstatovat, že nesymetričnost koutového svaru úzce souvisí s hodnotami vneseného tepla na jednotku délky svaru. Čím je tato hodnota nižší, tím větší je asymetrie svaru. Jak je zřejmé z obrázku 3.14 asymetrie svaru se projevila na nelinearitě průběhu od rychlostí podávání drátu $11,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlostí svařování $0,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Lze předpokládat, že i u rychlosti podávání drátu $8,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ by se s vyšší rychlostí svařování projevila větší nelinearita průběhu.

Dalším ze sledovaných a vyhodnocovaných parametrů byla celková plocha svaru P_c . Celková plocha svaru, tak jak je ukázáno na obrázku 3.18, je dána jednak přenosem přídavného materiálu a dále pak přetaveným základním materiálem. Celková plocha svaru je důležitým podpurným podkladem při definování modelu zdroje tepla využitelného při simulačních výpočtech.

Na obrázku 3.18 jsou zobrazeny závislosti celkové plochy svaru P_c na rychlosti svařování. Také v tomto případě lze snadno zaznamenat nelinearitu průběhu zejména u rychlostí podávání drátu nižších než $11,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

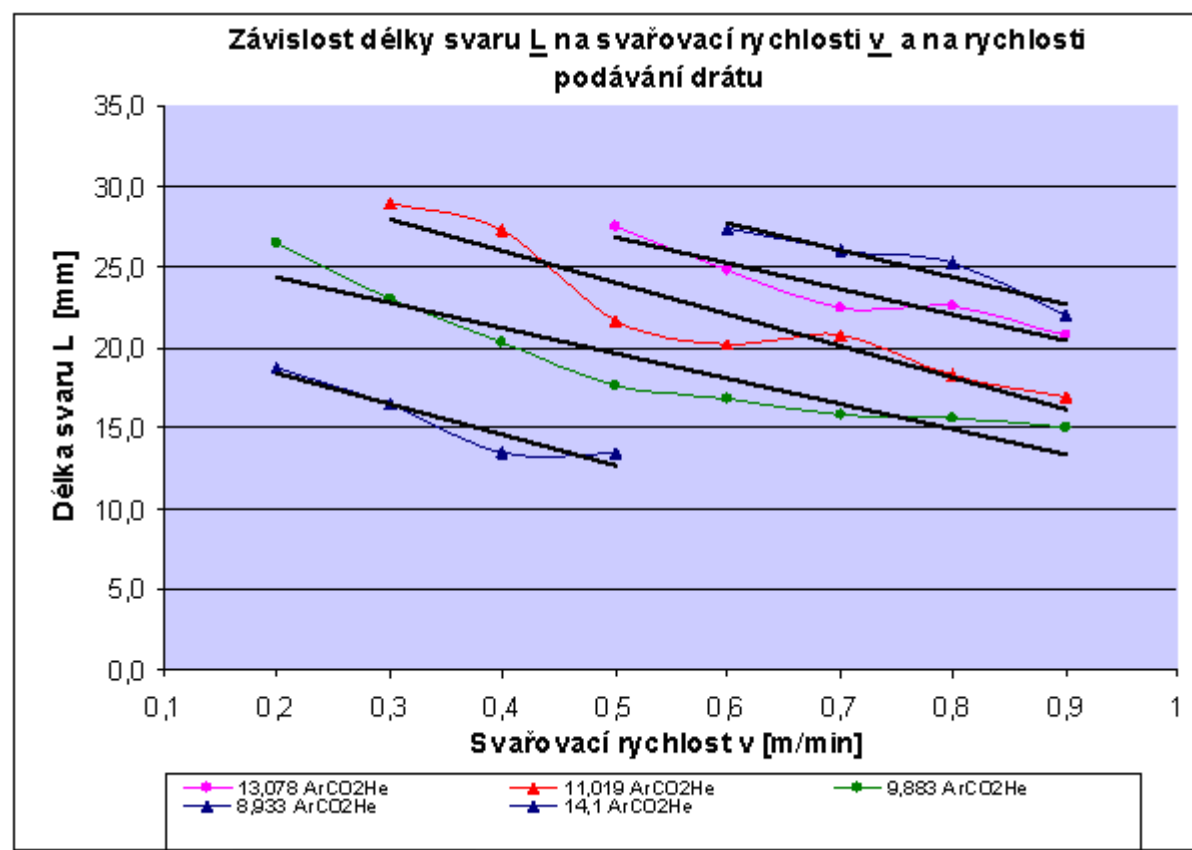


Obr. 3.18 Závislost celkové plochy svaru P_c na svařovací rychlosti v .

Zajímavé je též sledovat velikost převýšení svaru p a s ním spojený parametr P_n , což je plocha převýšení svaru. U vyšších rychlostí podávání drátu (13,0 a 14,0 m.min⁻¹) mají parametry p a P_n tendenci růst se zvyšující se rychlostí svařování, přičemž hodnota převýšení je menší než 8 % z celkové velikosti svaru a u plochy P_n je to méně než 7,7% z celkové plochy svaru. U rychlosti 11,0 m.min⁻¹ je růst parametrů p a P_n se zvyšující se rychlostí svařování velice pozvolný a hodnota převýšení je zde méně než 6,4 % oproti celkové velikosti svaru a u plochy P_n je to méně než 5,5 % z celkové plochy svaru. Při rychlosti podávání drátu 9,9 m.min⁻¹ (přechodová oblast přenosu kovu) již hodnota parametru p osciluje okolo 8 % a u parametru P_n okolo 5 % pro celý rozsah svařovacích rychlostí. U nejnižší rychlosti podávání drátu dochází k prudkému nárůstu velikosti i plochy převýšení. U parametru p činí velikost převýšení více než 24 % z celkové velikosti svaru a u plochy P_n je to více než 18 % z celkové plochy svaru.

Posledním zkoumaným parametrem byla délka svarové lázně L . Na obrázku 3.19 jsou vytvořeny závislosti délky svarové lázně na rychlosti svařování pro různé rychlosti podávání drátu. Z průběhů křivek je zřejmé, že se vliv rychlosti svařování na délce svarové lázně projevuje také poměrně výrazně. Stejně jako například u velikosti koutového svaru mají všechny závislosti téměř totožný směrový vektor klesání. Zajímavá je i intenzita zkracování svarové lázně s rostoucí rychlostí svařování. Na intervalu rychlostí svařování 0,3 – 0,9

m.min^{-1} dojde ke zkrácení svarové lázně o 41 % a na intervalu $0,2 - 0,9 \text{ m.min}^{-1}$ dojde ke zkrácení svarové lázně dokonce o 44 %.



Obr. 3.19 Závislost délky svaru L na svařovací rychlosti v .

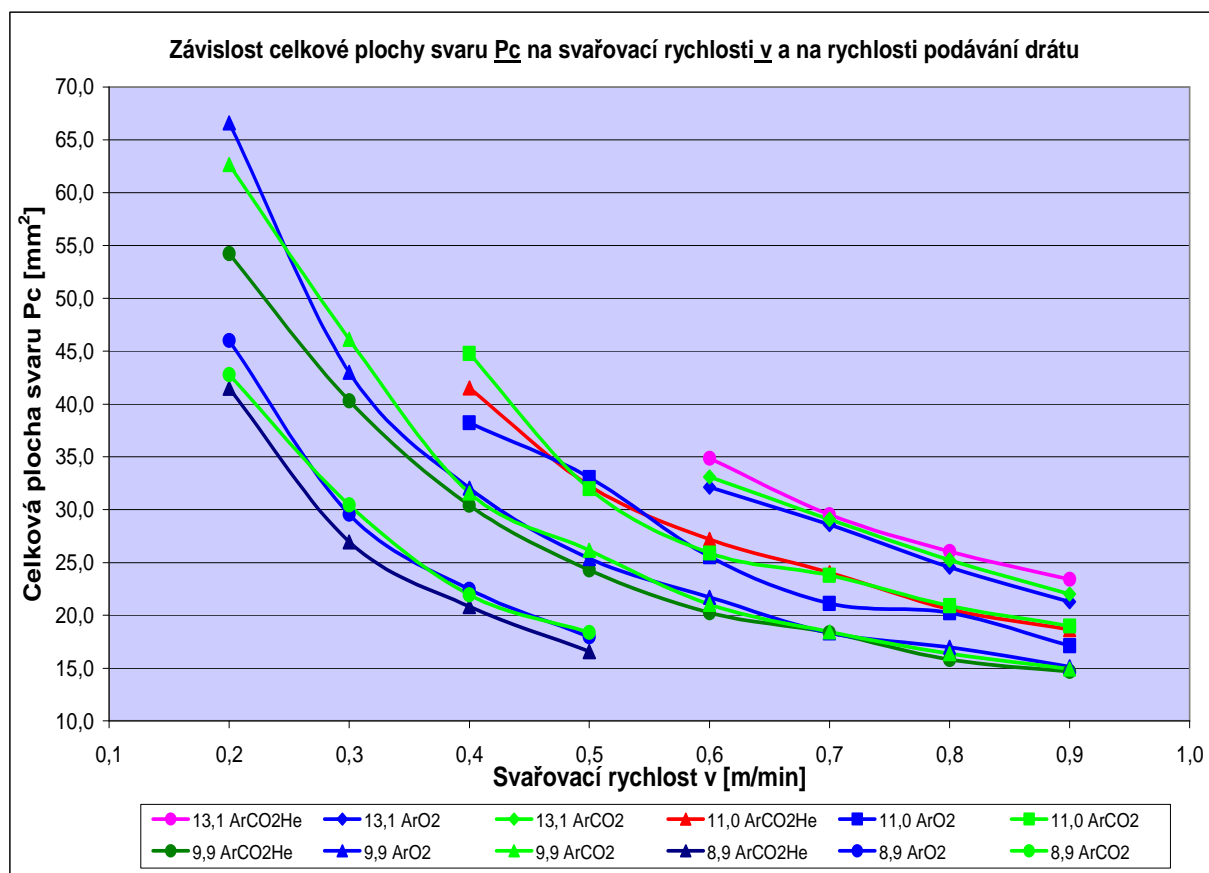
3.6. Porovnání výsledků dosažených s různými typy ochranných plynů

V následující kapitole jsou porovnány výsledky získaných geometrií svarových lázní s plynem **Inomaxx® Plus** se svary provedenými stejnými rychlostmi podávání drátu a rychlosti svařování v ochranných atmosférách plynů **Inomaxx®2** a **Euromix M13**.

Porovnání těchto tří ochranných atmosfér z hlediska svařovacích parametrů již bylo popsáno v kapitole 3.3.3. Složení vícesložkových plynů **Inomaxx®Plus**, **Inomaxx®2**, **Euromix M13** je uvedeno v tabulce 3.5.

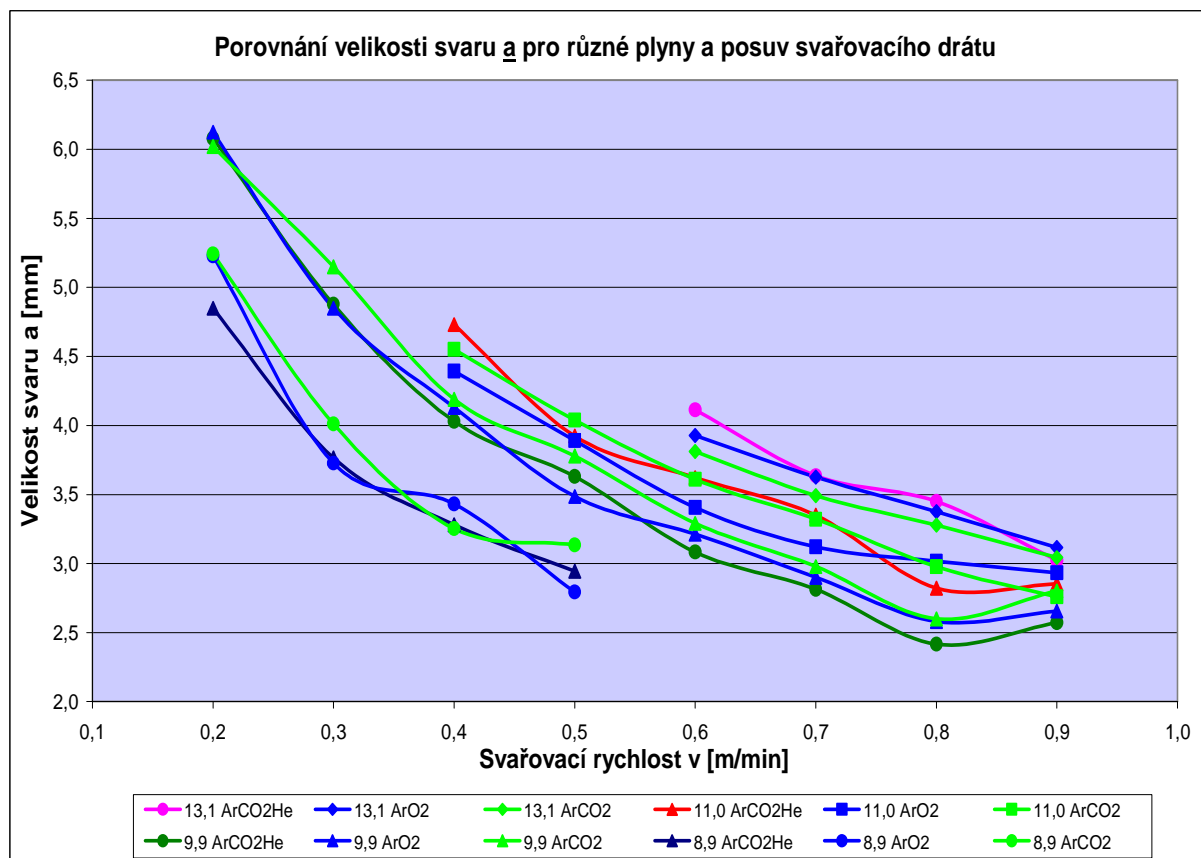
Na obrázku 3.20 je grafické znázornění závislosti celkové plochy svaru P_c na svařovací rychlosti v pro různé rychlosti podávání drátu. Zajímavé zde je, že přestože jsou u plynu **Inomaxx®Plus** mnohem nižší hodnoty svařovacího proudu potřebného pro odtavení stejného množství přídavného materiálu, celková plocha svaru P_c je u rychlostí podávání drátu $13,1 \text{ m.min}^{-1}$ pro tento plyn větší a u rychlosti podávání drátu $11,0 \text{ m.min}^{-1}$ stejná, jako u ostatních ochranných plynů. K větším odchylkám dochází u rychlosti podávání drátu $9,9 \text{ m.min}^{-1}$ a rychlostí svařování $0,2$ a $0,3 \text{ m.min}^{-1}$. Se zvyšující se rychlostí svařování jsou

odchylky ve velikosti celkové plochy svaru P_c minimální. Při rychlosti podávání drátu $8,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je velikost parametru P_c v 10 % rozptylu.

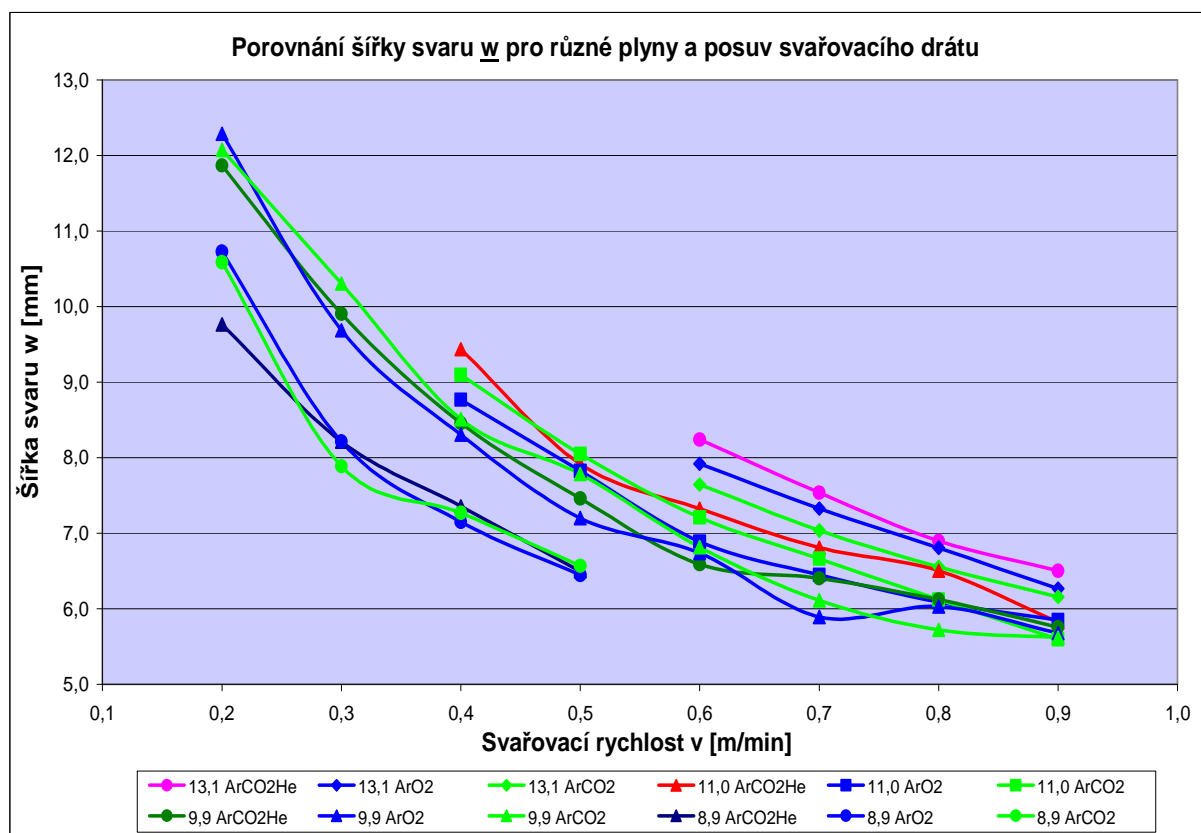


Obr. 3.20 Závislost celkové plochy svaru P_c na svařovací rychlosti v .

Při porovnání vlivu různých typů ochranných plynů na velikost koutového svaru nebyl průkazně doložen vliv ochranné atmosféry na parametr a . U všech použitých rychlostí podávání drátu a pro všechny použité typy ochranné atmosféry se hodnota velikosti koutového svaru a prolínala, přičemž absolutní odchylka byla méně než 8,2 %. Porovnání velikosti koutového svaru a na rychlosti svařování pro různé rychlosti podávání drátu a různé typy ochranných plynů je na obrázku 3.21.



Obr. 3.21 Porovnání velikosti svaru a pro různé plyny a posuv svařovacího drátu.

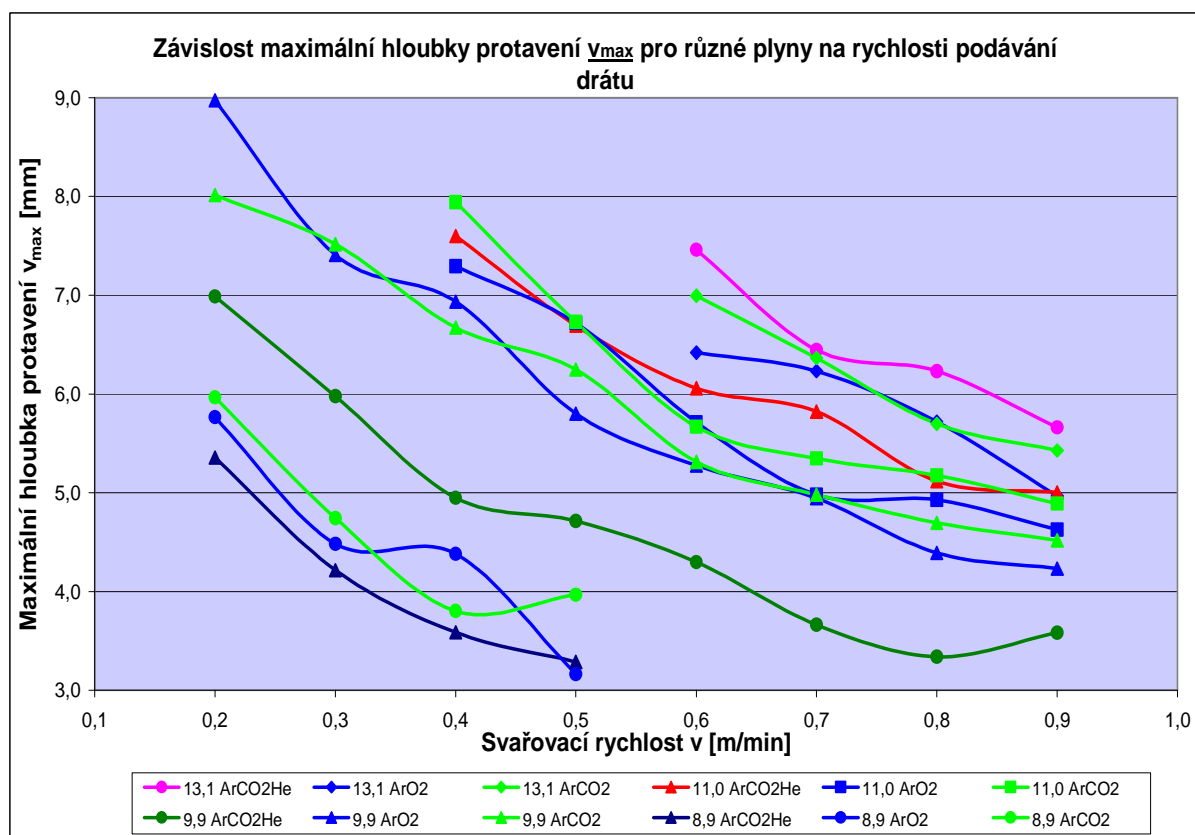


Obr. 3.22 Porovnání šířky svaru w pro různé plyny a posuv svařovacího drátu.

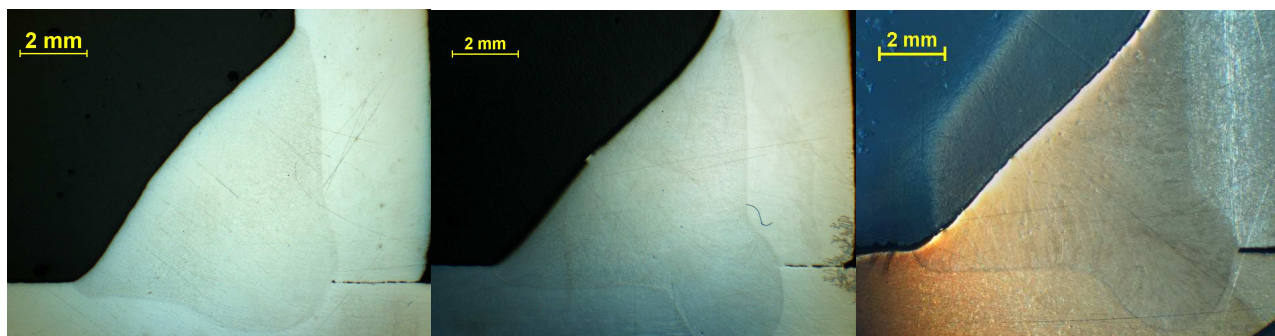
Stejné chování jako parametr **a** vykazovala i šířka svaru **w**. U všech použitých rychlostí podávání drátu a pro všechny použité typy ochranné atmosféry se hodnota šířky koutového svaru prolínala, přičemž absolutní odchylka byla méně než 9 %.

Nejzajímavějších výsledků bylo dosaženo u maximální hloubky protavení v_{\max} (obr. 3.23). Při použití ochranného plynu **Inomaxx®Plus** bylo při rychlosti podávání drátu $13,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ dosaženo maximálních hodnot protavení i přesto, že použité hodnoty svařovacího proudu byly mnohem nižší. Při rychlosti podávání drátu $11,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ se již hodnoty velikosti protavení u všech tří typů ochranné atmosféry vyrovnaly a stejný průběh vykazovaly i hodnoty protavení u rychlosti podávání drátu $8,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Největších rozdílů v hloubce protavení bylo dosaženo u rychlosti podávání drátu $9,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Rozdíl v hloubce protavení zde činil až 29 % ve prospěch ochranných plynů **Inomaxx®2** a **Euromix M13**. Rozdíly v hloubce protavení pro jednotlivé ochranné plyny a rychlost podávání drátu $9,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou zřejmé také z makrosnímku na obrázku 3.24. Tyto značné rozdíly lze vysvětlit na základě měřených svařovacích parametrů a na základě detailního grafického záznamu svařovacího napětí a proudu. Při rychlosti podávání drátu $9,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, při použití plynu **Inomaxx®Plus** již svařovací parametry spadají do přechodové oblasti přenosu kovu, zatímco při použití ochranných plynů **Inomaxx®2** a **Euromix M13** spadají svařovací parametry do oblasti bezzkratového přenosu kovu.



Obr. 3.23 Závislost maximální hloubky protavení v_{\max} pro různé plyny na rychlosti podávání drátu.



Obr. 3.24 Makrosnímky pro jednotlivé ochranné plyny pro rychlost podávání drátu $9,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

4. ZÁVĚR

Svařování je složitý proces s mnoha proměnnými, jehož výsledkem je určitý tvar svarové lázně a teplotní gradient. Největším úskalím při predikci tvaru svarové lázně je fakt, že veškeré veličiny mající na výslednou geometrii svaru vliv, jsou mezi sebou propojeny a ovlivňují se navzájem. Dalším problémem je i vysoký počet vstupních veličin.

Druh a složení ochranného plynu je vstupní veličinou mající na tvar svarové lázně značný vliv a to jak z technologického, tak i z fyzikálního pohledu. Typem ochranného plynu jsou ovlivněny jak technologické parametry svařování (napětí, proud atd.), tak i další děje probíhající v systému elektrický oblouk – svarová lázeň (rychlost a směr proudění, způsob přenosu kovu do materiálu).

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit a posoudit vliv různých druhů ochranných plynů na geometrii svarové lázně, při svařování koutových svarů z vysokolegovaných austenitických ocelí. Tato bakalářská práce navazuje na experimenty provedené v rámci řešení grantového projektu GAČR 101/09/P176.

Aby bylo možno porovnat vliv jednotlivých druhů ochranných plynů na velikost a tvar svarové lázně, muselo být stanoveno srovnávací kritérium pro velikost svaru. Tímto kritériem bylo množství odtaveného kovu dané rychlostí podávání drátu a rychlostí svařování. Zachována byla také další technologická kritéria, jako je vzdálenost kontaktní špičky od materiálu, výlet drátu, typ a rozměry svařovaného vzorku atd. Mimo výsledné geometrie svarové lázně byly měřeny a vyhodnoceny také hlavní technologické parametry svařování (napětí, proud, vnesené teplo, průtok plynu atd.).

Celkem byly porovnávány tři typy ochranných plynů od firmy Air Products s.r.o. s obchodním označením **Inomaxx®Plus**, **Inomaxx®2** a **Euromix M13**. Všechny tři typy jsou určeny ke svařování vysokolegovaných ocelí.

Nejprve byl porovnáván vliv ochranných plynů na hlavní technologické parametry svařování. Experimentálně bylo zjištěno, že při použití plynu **Inomaxx®Plus** je možné pro odtavení stejného množství přídavného materiálů použít nižší hodnoty svařovacího proudu. Při rychlosti podávání drátu 13,1 až 9,9 m.min⁻¹ je možné použít až o 12% nižší hodnoty svařovacího proudu než při použití plynu **Inomaxx®2** a až o 15% nižší hodnoty proudu než s ochranným plynem **Euromix M13**. To má za následek snížení množství vneseného tepla na jednotku délky, což vede zároveň ke snížení deformací a vnitřních pnutí ve svařenci. Při rychlosti podávání drátu 8,9 m.min⁻¹ však již dochází k vyrovnání hodnot svařovacího proudu u všech tří typů plynů. Toto vyrovnání souvisí se způsobem přenosu kovu

do materiálu, protože při této rychlosti podávání drátu již přenos kovu spadá do přechodové oblasti.

Pro porovnání geometrie svarové lázně bylo měřeno celkem 21 geometrických údajů. Z těchto údajů byly pro porovnání vybrány čtyři základní. Byla to velikost koutového svaru **a**, šířka svaru **w**, maximální hloubka protavení **v_{max}** a celková plocha svaru **P_c**. Základním kritériem pro porovnání byly stejné hodnoty rychlosti podávání drátu pro jednotlivé ochranné plyny. Maximální odchylka v rychlosti podávání drátu, zjištěná monitorováním svařovacích parametrů byla menší než 1,0%.

Při porovnání vlivu různých typů ochranných plynů na velikost koutového svaru **a** a na šířku svaru **w**, nebyl průkazně doložen vliv ochranné atmosféry. U všech použitých rychlostí podávání drátu a pro všechny použité typy ochranné atmosféry se hodnoty prolínaly, přičemž absolutní odchylka byla menší než 9 %. Také u celkové plochy svaru **P_c** nedochází k výraznějším odchylkám. Zajímavé zde je, že přestože jsou u plynu **Inomaxx®Plus** mnohem nižší hodnoty svařovacího proudu potřebného pro odtavení stejného množství přídavného materiálu, celková plocha svaru **P_c** je u rychlosti podávání drátu 13,1 m.min⁻¹ pro tento plyn větší a u rychlosti podávání drátu 11,0 m.min⁻¹ stejná, jako u ostatních ochranných plynů. K větším odchylkám ve velikosti parametru **P_c** dochází pouze u rychlosti podávání drátu 9,9 m.min⁻¹ a rychlosti svařování 0,2 a 0,3 m.min⁻¹. Se zvyšující se rychlostí svařování jsou odchylky ve velikosti celkové plochy svaru **P_c** minimální.

Nejzajímavějších výsledků bylo dosaženo u maximální hloubky protavení **v_{max}**. Při použití ochranného plynu **Inomaxx®Plus** bylo při rychlosti podávání drátu 13,1 m.min⁻¹ dosaženo maximálních hodnot protavení i přesto, že použité hodnoty svařovacího proudu byly mnohem nižší. Při rychlosti podávání drátu 11,0 m.min⁻¹ se již hodnoty velikosti protavení u všech tří typů ochranné atmosféry vyrovnaly a stejný průběh vykazovaly i hodnoty protavení u rychlosti podávání drátu 8,9 m.min⁻¹. Největších rozdílů v hloubce protavení bylo dosaženo u rychlosti podávání drátu 9,9 m.min⁻¹, kdy rozdíl v hloubce protavení činil až 29 % ve prospěch ochranných plynů **Inomaxx®2** a **Euromix M13**. Tyto značné rozdíly lze vysvětlit na základě detailního grafického záznamu svařovacího napětí a proudu. Při rychlosti podávání drátu 9,9 m.min⁻¹, při použití plynu **Inomaxx®Plus** již svařovací parametry spadají do přechodové oblasti přenosu kovu, zatímco při použití ostatních dvou plynů je přenos kovu bezzkratový.

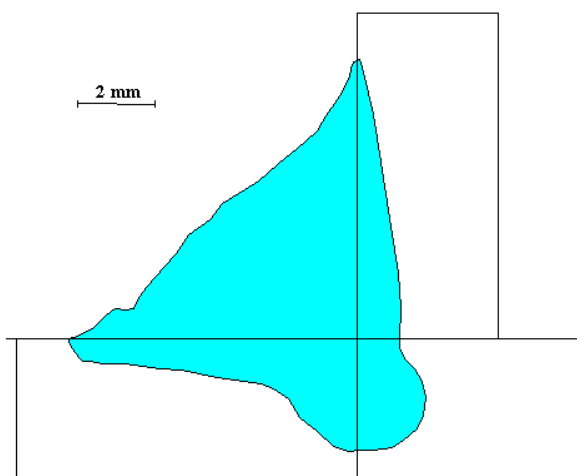
Tato práce vznikla za podpory grantového projektu GAČR 101/09/P176 a studentské grantové soutěže SGS 2822.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

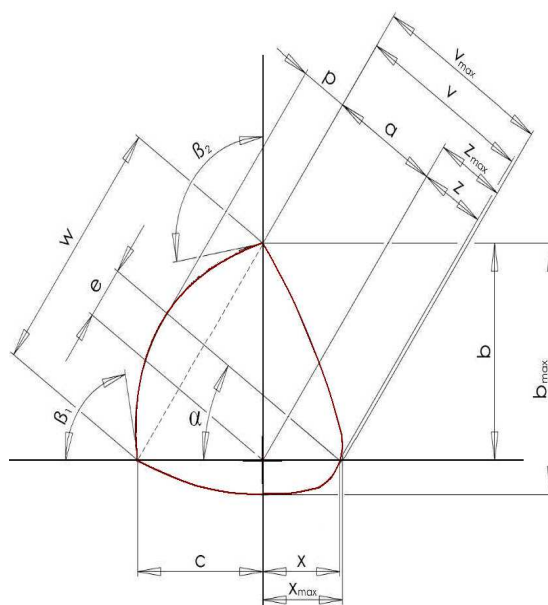
- [1] IVA NOVÁ, IVA NOVÁKOVÁ, JIŘÍ BRADÁČ.: Technologie I, Liberec 2006.
- [2] JOSEF KUNCIPÁL a kol.: Teorie svařování, Praha, 1986.
- [3] VLADIMÍR KADLEC, BOHUMIL ŤOPEK.: Svařování v ochranných atmosférách. Pardubice 1989
- [4] TOMÁŠ ADOLF.: Vliv průměru svařovacího drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG. [Bakalářská práce]. FS-TU v Liberci 2010
- [5] M. HLUCHÝ, J. KOLOUCH, R. PAŇÁK.: Strojírenská technologie 2, 1. díl. Praha 2001
- [6] KOLEKTIV AUTOROV.: Zváracie metódy a zariadenia. Ostrava 2000
- [7] RÓBERT KOPŘIVA.: Technológia zvarovania v ochranných plynoch metódou MIG-MAG. Ostrava 1993
- [8] J. TMEJ, HEINZ NEUMANN, S. JENŠÍ.: Teorie svařování. Liberec 1990
- [9] E. SAMEK, R. STRINKA.: Zváranie v ochranném atmosfére taviacou sa elektrodou. Praha 1982
- [10] <http://fs1.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/07-08-131-135.pdf>
- [11] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf
- [12] <http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20MIG%20MAG.pdf>
- [13] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008020702>
- [14] <http://www.airproducts.cz/metalfabrication/svarovani/MaxxGases.htm>
- [15] http://cs.wikipedia.org/wiki/Historie_sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD
- [16] SYCHRA, M.: Vliv svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně při svařování metodou MAG, [Diplomová práce]. FS-TU v Liberci 2010
- [17] ČSN EN ISO 5817.: SVAŘOVÁNÍ- Svarové spoje oceli, niklu titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním- určování stupňů kvality.

6. PŘÍLOHA

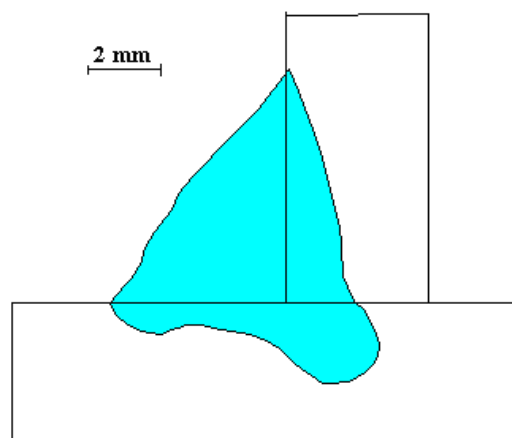
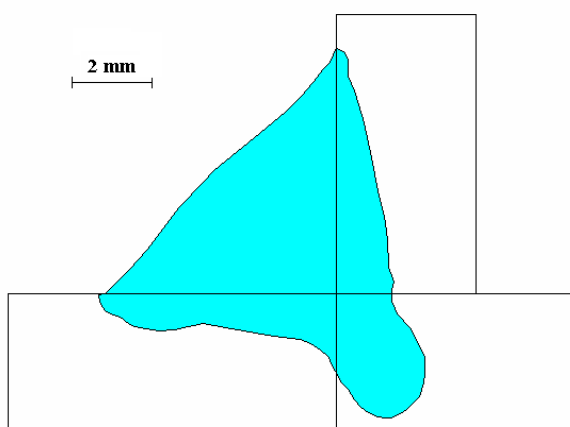
6.1. Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 13,1 m/min.



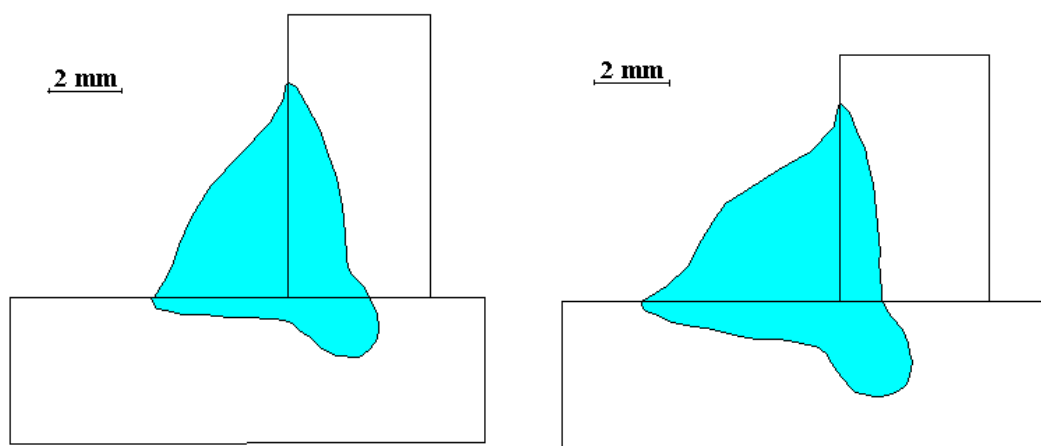
Obr. 6.1 Geometrie makrostruktury vzorku X4c003



Obr. 6.2 Měřené rozměry makrostruktury



Obr. 6.3 Geometrie makrostruktury vzorku X4c008 a vzorku X4c009



Obr. 6.4 Geometrie makrostruktury vzorku X4c010 a vzorku X4c011

Tab. 6.1 Geometrické rozměry svarové lázně vzorků pro průměrnou rychlost podávání svařovacího drátu 13,1 m/min (uvedené hodnoty jsou v **mm** eventuálně pro P_c , P_n , P_Δ v **mm²**).

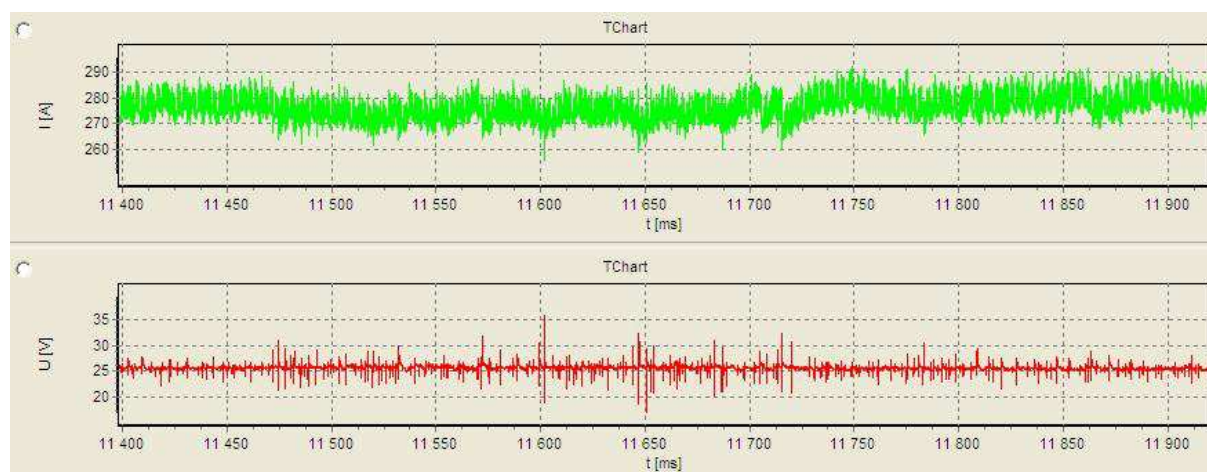
X4c003	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	4,7147	6,5371	9,4396	6,7937	0,1115	0,2888	9,4339	0,7205	2,7693	1,0600
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,0790	5,4352	7,4840	45,46	136,00	134,00	41,361	22,121	1,255	
X4c008	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	4,1141	5,9274	7,4970	5,7143	0,1176	0,3101	8,2388	0,9569	3,3456	1,3650
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,3810	5,0710	7,4597	44,52	132,01	137,46	34,871	17,049	1,101	
X4c009	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,6367	6,0029	7,3547	4,5565	1,0220	0,3500	7,5367	1,5000	2,8092	1,8730
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,8890	5,1367	6,4459	37,18	120,68	138,21	29,521	13,685	1,300	
X4c010	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,4499	4,7997	6,7830	4,9683	0,1727	0,5180	6,8971	0,8298	2,7812	1,1100
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1240	4,2797	6,2311	46,69	127,56	126,57	26,052	11,805	1,603	
X4c011	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,0232	5,3881	6,0051	3,6251	1,2045	0,4061	6,5032	1,8260	2,6387	2,2400
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	2,2500	4,8492	5,6619	34,01	114,73	139,20	23,421	9,739	1,450	

Tab. 6.2 Svařovací parametry vzorků: X4c003, X4c008, X4c009, X4c010, X4c011

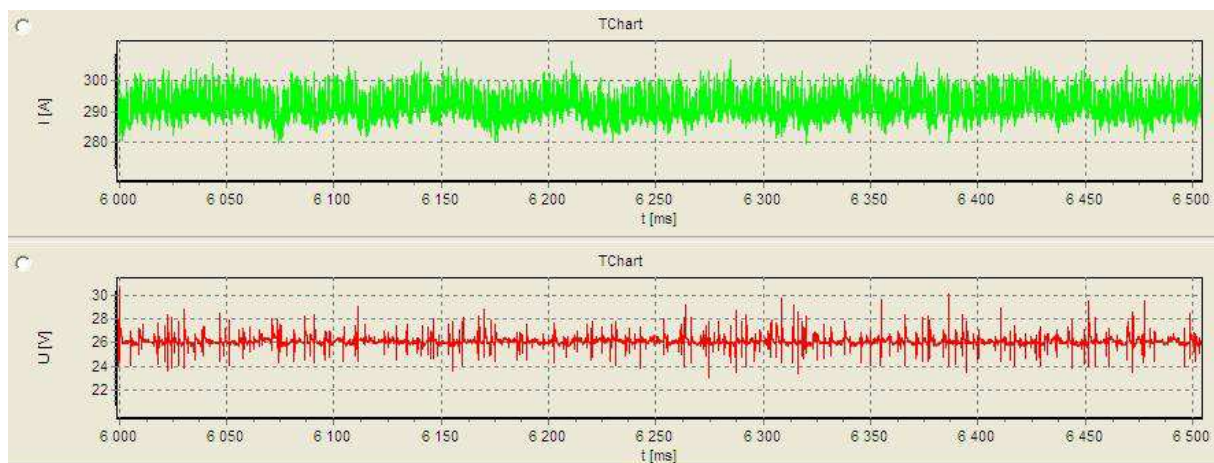
Svar	nast. svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	skutečný proud [A]	skutečná rychlost [m/min]	napětí [V]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
X4c003	220	0,5	274,7	0,499	25,8	13,167	2,284	18
X4c008	220	0,6	277	0,593	25,6	13,013	1,778	18
X4c009	220	0,7	273	0,702	25,8	13,036	1,506	22
X4c010	220	0,8	275,8	0,788	25,7	13,053	1,341	22
X4c011	220	0,9	272,8	0,884	25,8	13,059	1,068	22

Tab. 6.3 Určení stupně kvality jednotlivých svarů.[17]

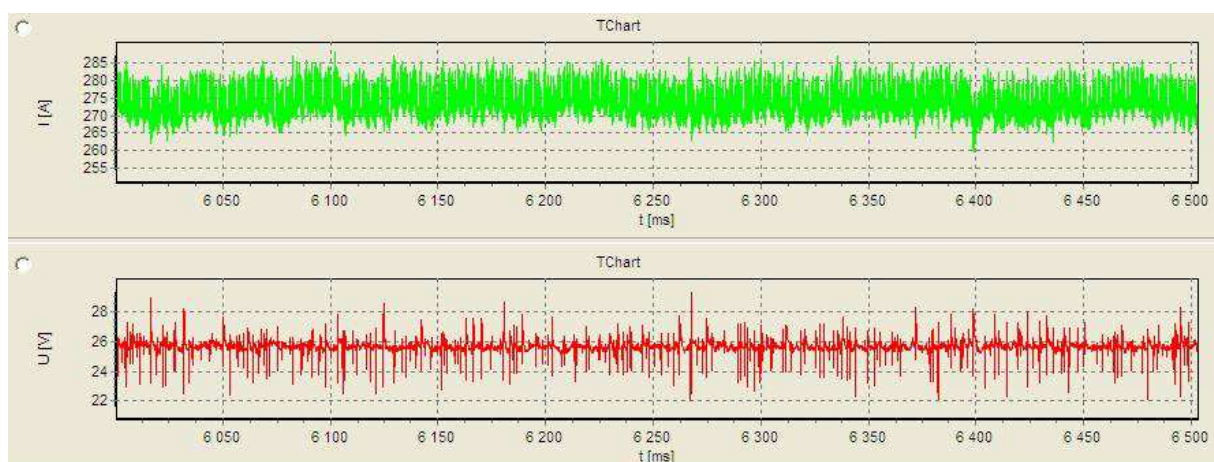
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a 1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového svaru	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
X4c003	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c008	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c009	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B
X4c010	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c011	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B



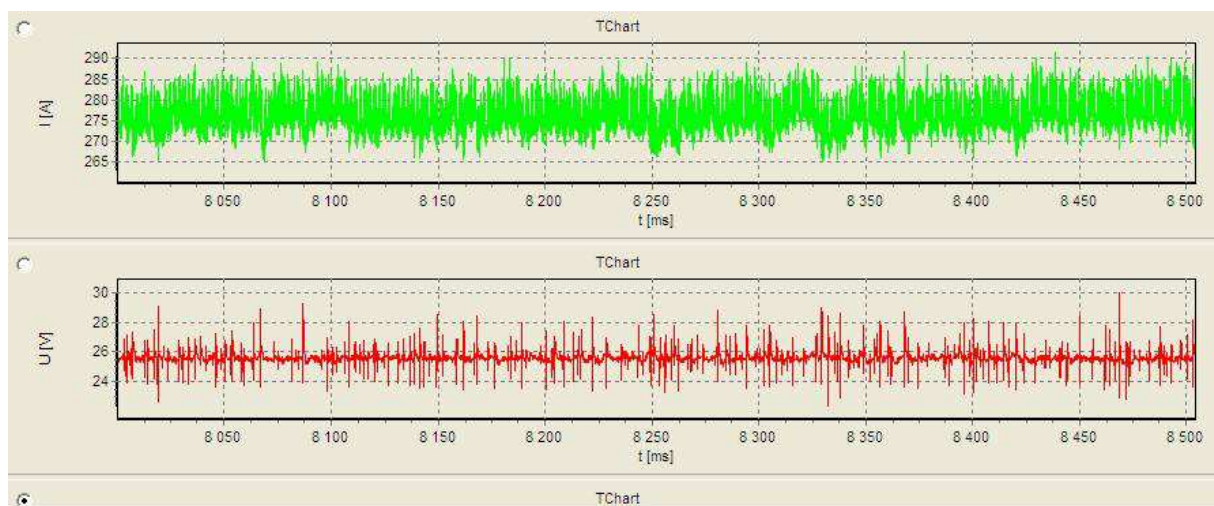
Obr. 6.5 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c003.



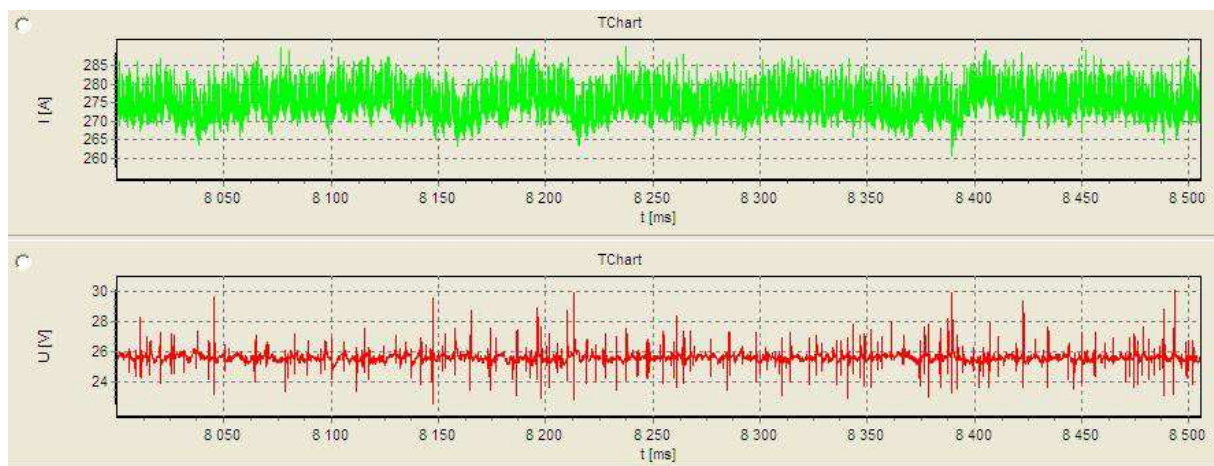
Obr. 6.6 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c008.



Obr. 6.7 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c009.

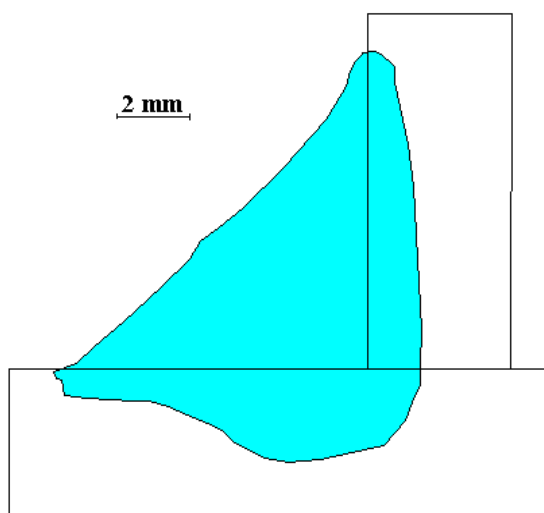


Obr. 6.8 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c010.

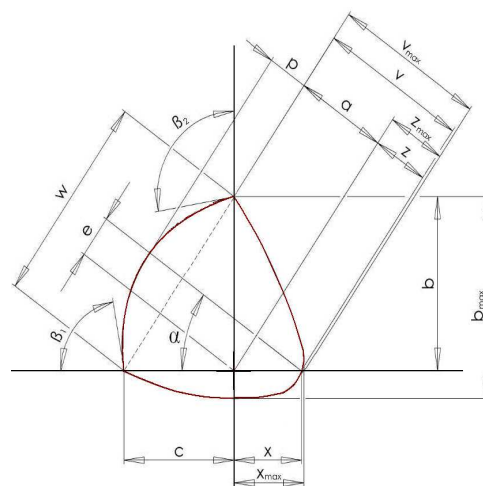


Obr. 6.9 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c011.

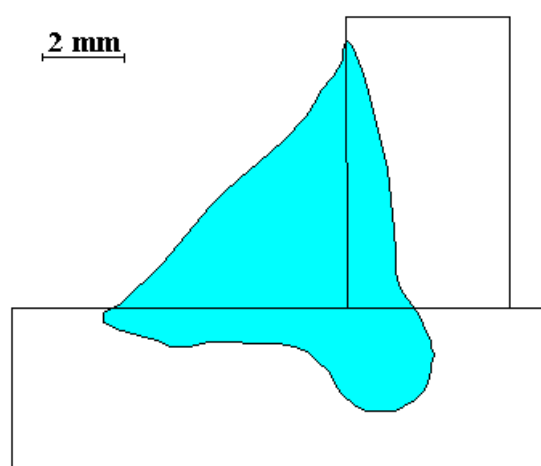
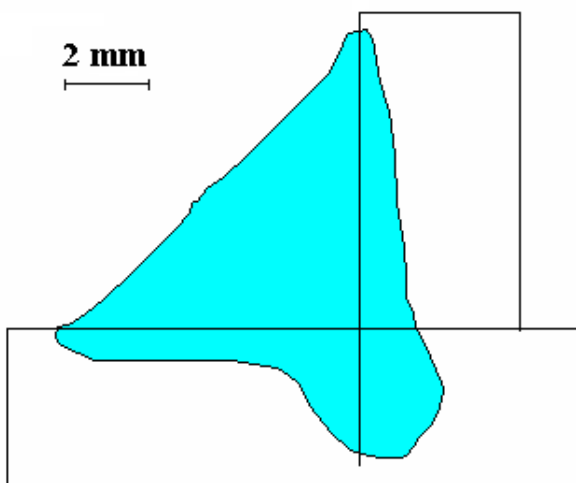
6.2. Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 11 m/min.



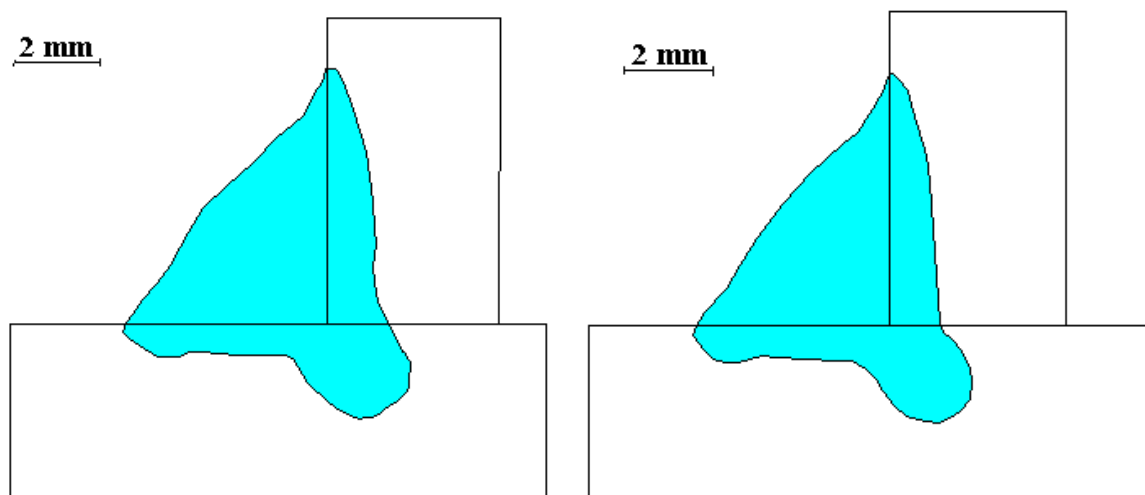
Obr. 6.10 Geometrie makrostruktury vzorku X4c002



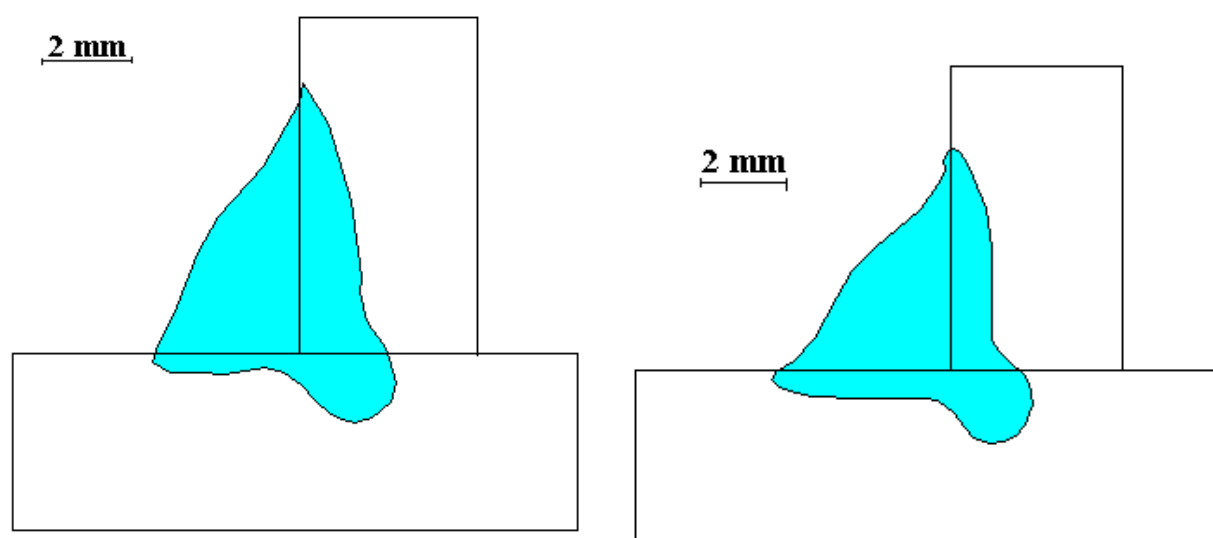
Obr. 6.11 Měřené rozměry makrostruktury



Obr. 6.12 Geometrie makrostruktury vzorku X4c001 a vzorku X4c012



Obr. 6.13 Geometrie makrostruktury vzorku X4c013 a vzorku X4c014



Obr. 6.14 Geometrie makrostruktury vzorku X4c015 a vzorku X4c016

Tab. 6.4 Svařovací parametry vzorků: X4c001, X4c002, X4c012, X4c013, X4c014, X4c015, X4c016

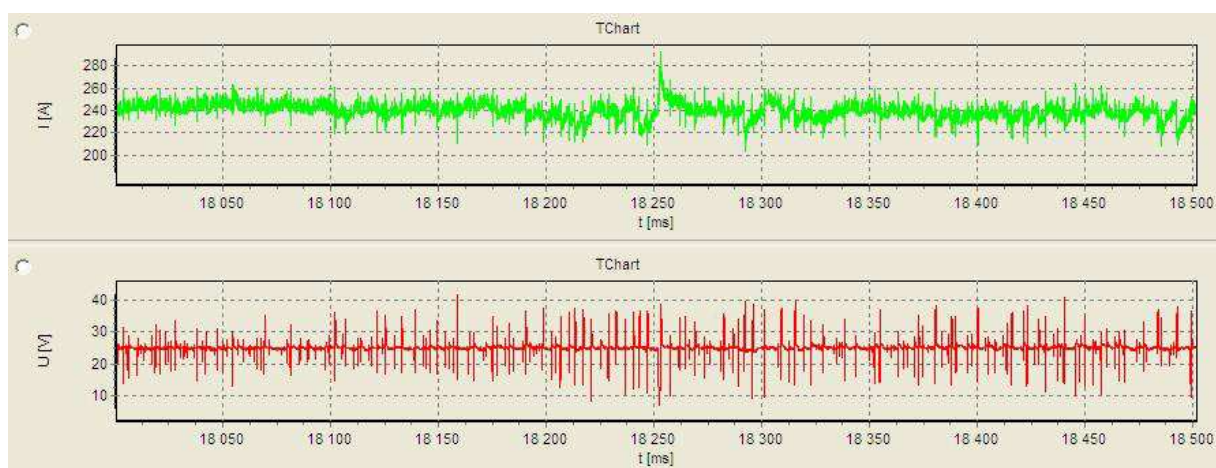
Svar	nast. svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	skutečný proud [A]	skutečná rychlost [m/min]	napětí [V]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
X4c002	200	0,3	236,6	0,301	25,4	11,085	3,601	18
X4c001	200	0,4	247	0,402	24,9	11,051	2,373	18
X4c012	200	0,5	243,7	0,495	25	11,006	1,819	22
X4c013	200	0,6	245	0,598	24,9	11	1,365	22
X4c014	200	0,7	245,8	0,701	24,9	11,018	1,227	22
X4c015	200	0,8	245	0,798	24,9	11,016	1,042	22
X4c016	200	0,9	247,1	0,892	24,8	11,021	0,95	22

Tab. 6.5 Geometrické rozměry svarové lázně vzorků pro průměrnou rychlost podávání svařovacího drátu 11 m/min (uvedené hodnoty jsou v **mm** eventuálně pro P_c , P_n , P_Δ v mm^2).

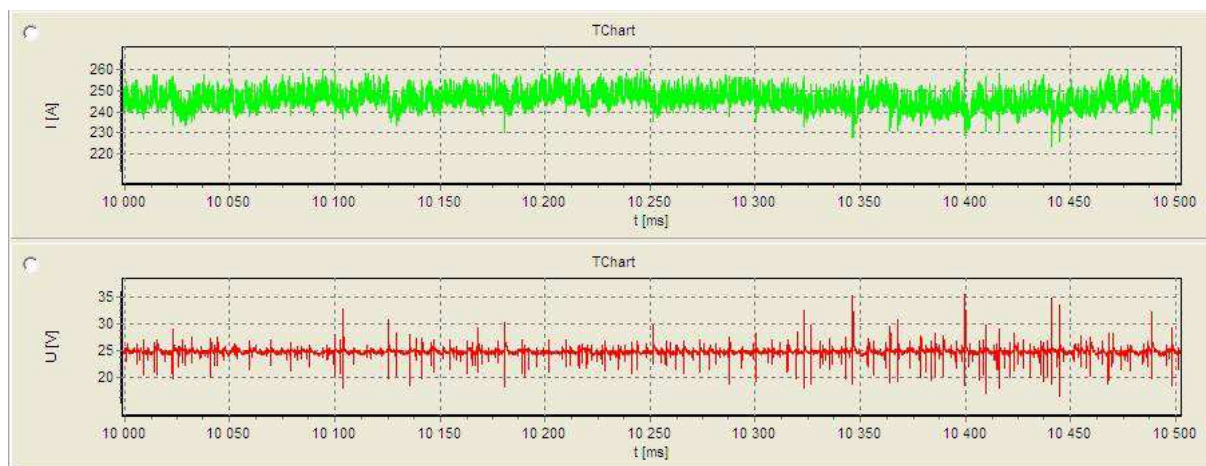
X4c001	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	4,7308	6,7275	9,7421	6,6349	0,1182	0,1474	9,4376	0,9999	2,8683	1,3810
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,4527	5,7307	6,8991	44,53	148,90	134,45	41,527	22,299	0,381	
X4c002	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	5,3868	7,5843	9,6469	7,6825	0,0239	0,3200	10,7728	0,8523	1,7061	1,2490
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,2850	6,2391	7,0929	45,56	135,20	134,60	52,203	29,042	0,584	
X4c012	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,9238	5,7755	7,8699	5,3810	0,1980	0,2194	7,9170	1,1380	2,7692	1,5750
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,5966	5,0618	6,6930	43,31	135,34	141,43	32,274	15,431	0,799	
X4c013	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,6226	5,5928	7,8101	4,7187	0,6273	0,2653	7,3244	1,0191	2,4360	1,3484
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,3697	4,6417	6,0586	40,21	125,36	139,00	27,186	13,191	1,001	
X4c014	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,3501	5,2486	6,9196	4,3499	0,6227	0,3103	6,8082	0,8831	2,4712	1,1321
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1450	4,2332	5,8213	39,77	125,05	139,55	24,038	11,384	0,901	
X4c015	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	2,8219	5,6109	6,2620	3,2707	1,5849	0,3480	6,5030	1,7094	2,2963	1,9744
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,9899	4,5313	5,1182	30,41	113,78	144,65	20,572	9,146	1,123	
X4c016	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	2,8539	4,5114	5,4748	3,6809	0,5831	0,3010	5,8222	1,1834	2,1495	1,5403
	x_{max}	v	v_{max}	α	β_1	β_2	P_c	P_Δ	P_n	
	1,5650	4,0373	5,0034	39,42	126,81	138,69	18,655	8,305	0,955	

Tab. 6.6 Určení stupně kvality jednotlivých svarů[17].

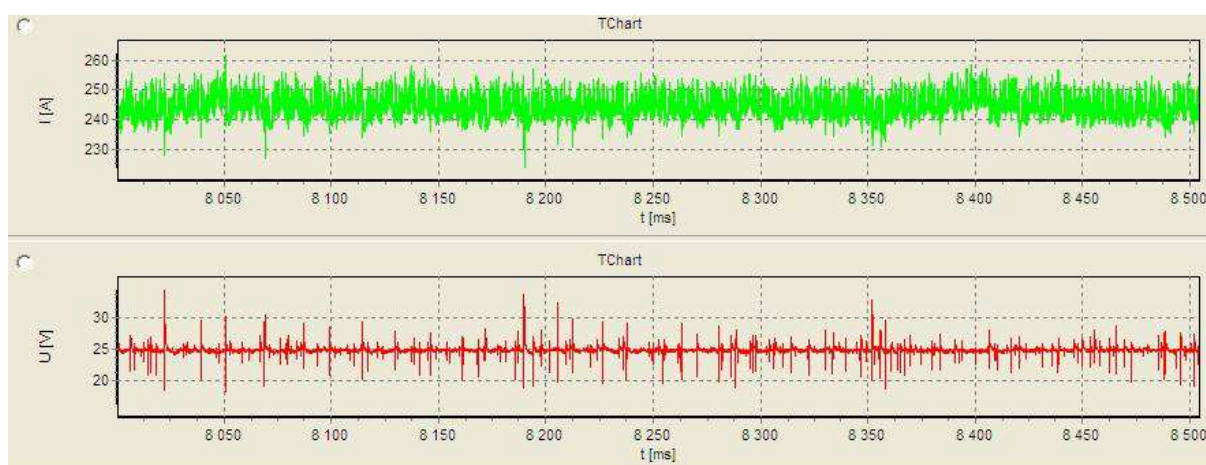
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a 1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového svaru	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
X4c002	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c001	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c012	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c013	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c014	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c015	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
X4c016	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B



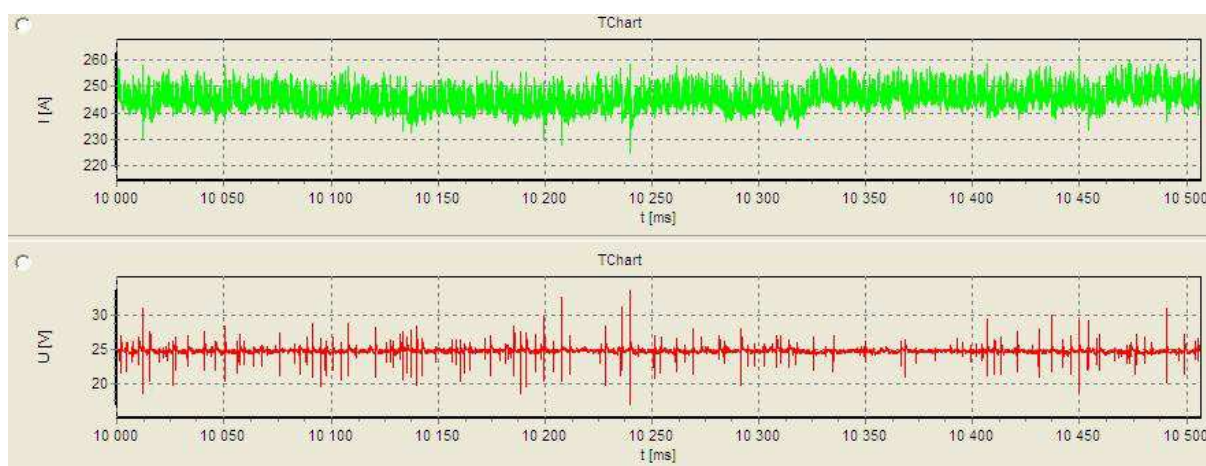
Obr. 6.15 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c002.



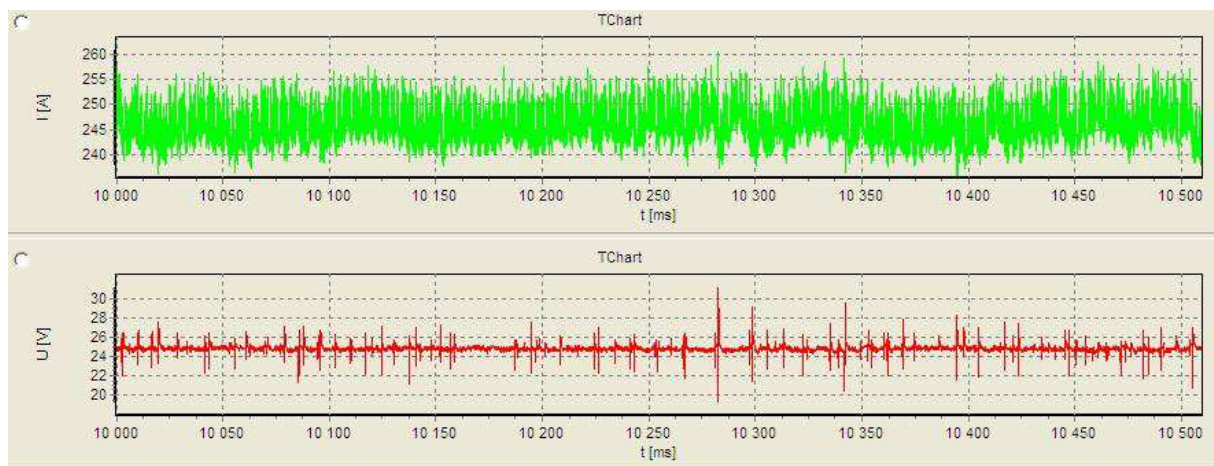
Obr. 6.16 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c001.



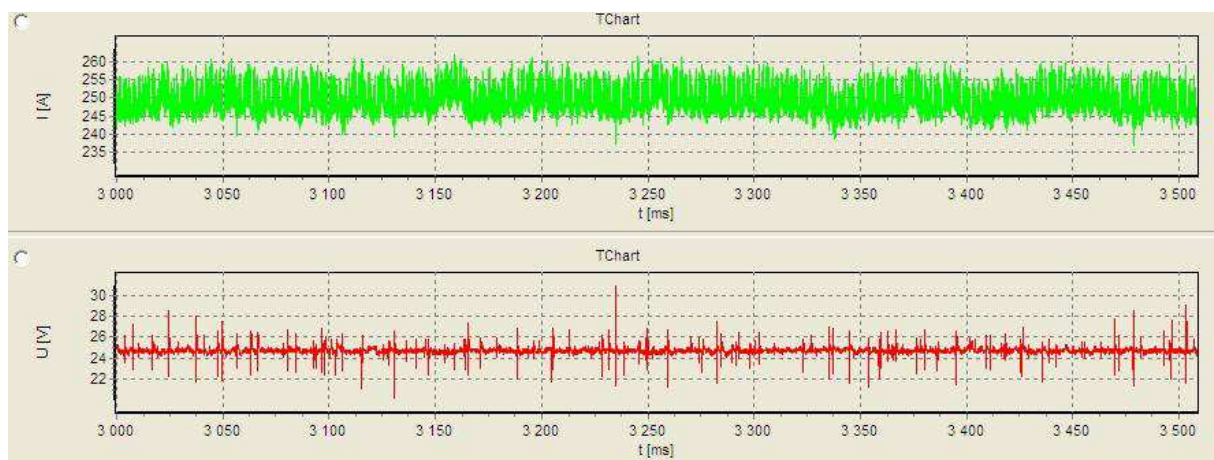
Obr. 6.17 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c012.



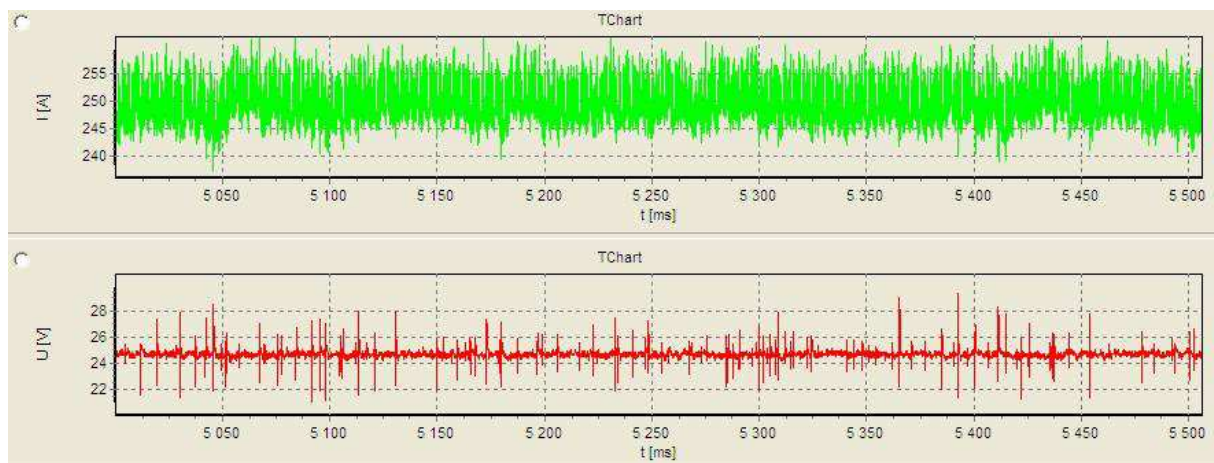
Obr. 6.18 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c013.



Obr. 6.19 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c014.

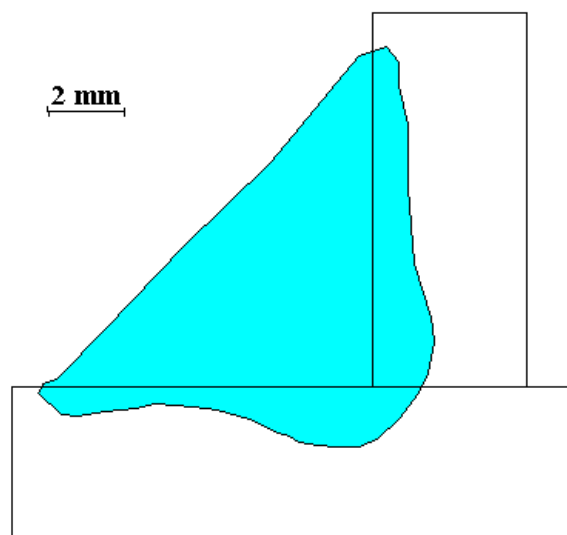


Obr. 6.20 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c015.

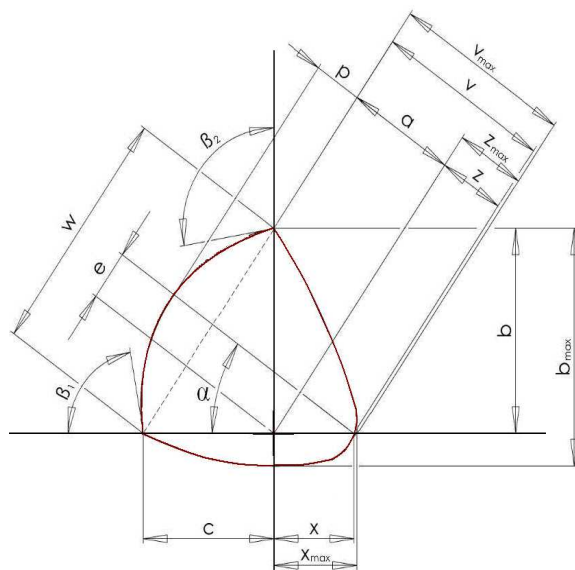


Obr. 6.21 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c016.

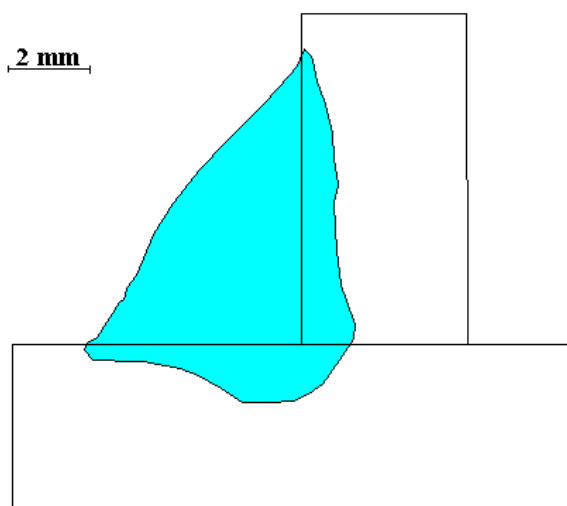
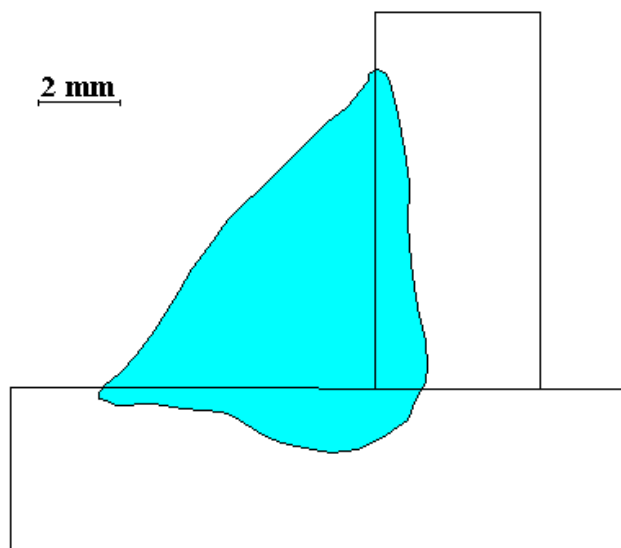
6.3. Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 9,9 m/min.



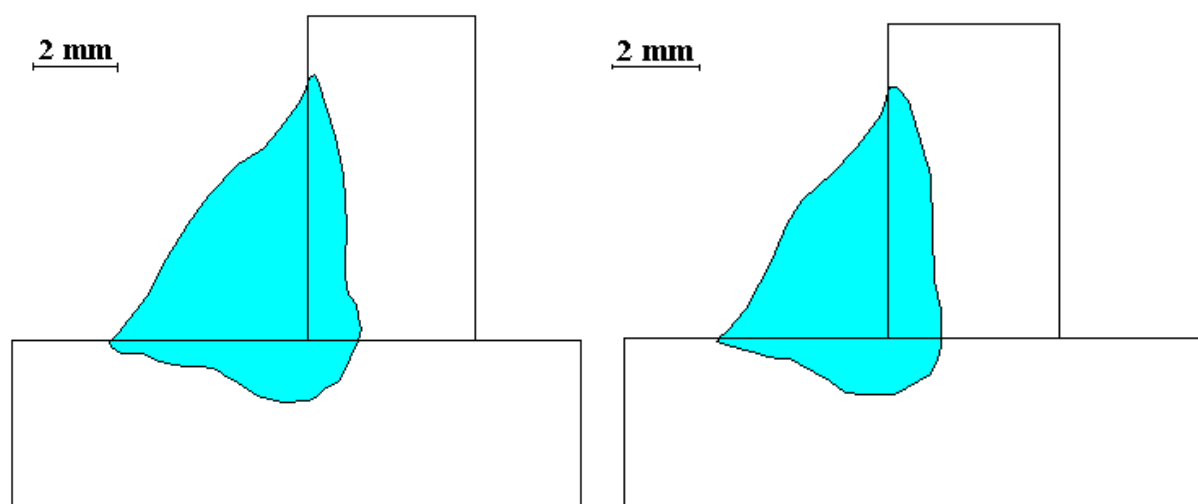
Obr. 6.22 Geometrie makrostruktury vzorku X4c017



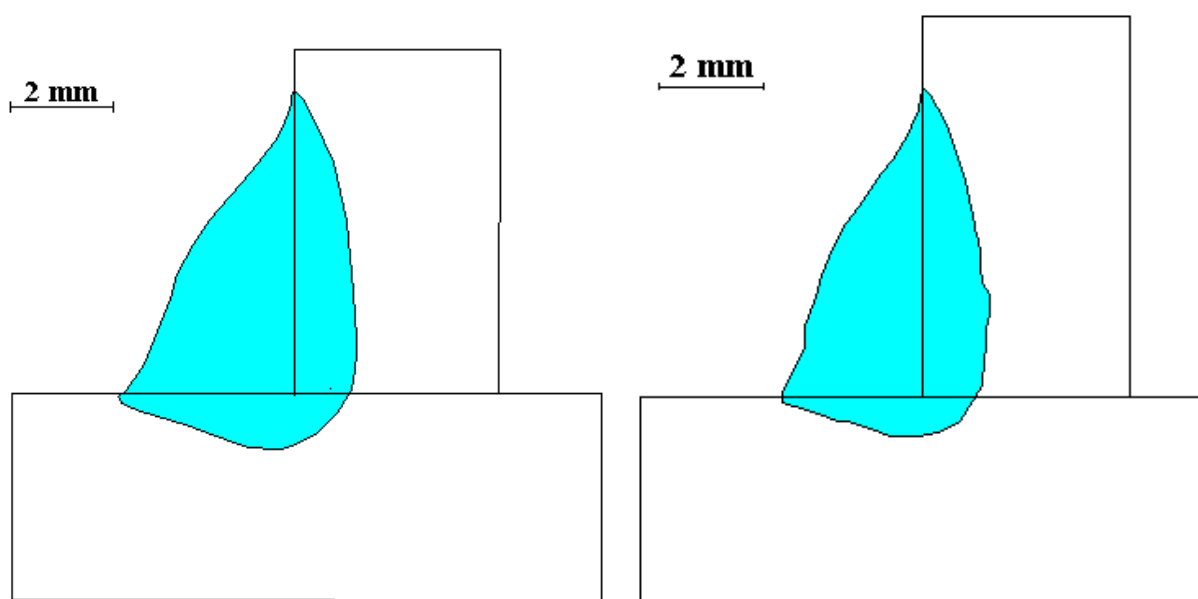
Obr. 6.23 Měřené rozměry makrostruktury



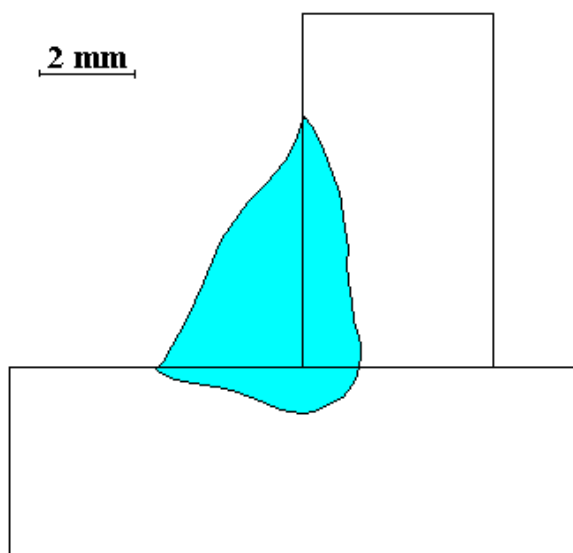
Obr. 6.24 Geometrie makrostruktury vzorku X4c018 a vzorku X4c019



Obr. 6.25 Geometrie makrostruktury vzorku X4c020 a vzorku X4c021



Obr. 6.26 Geometrie makrostruktury vzorku X4c022 a vzorku X4c023



Obr. 6.27 Geometrie makrostruktury vzorku X4c024

Tab. 6.7 Svařovací parametry vzorků: X4c017, X4c018, X4c019, X4c020, X4c021, X4c022, X4c023, X4c024

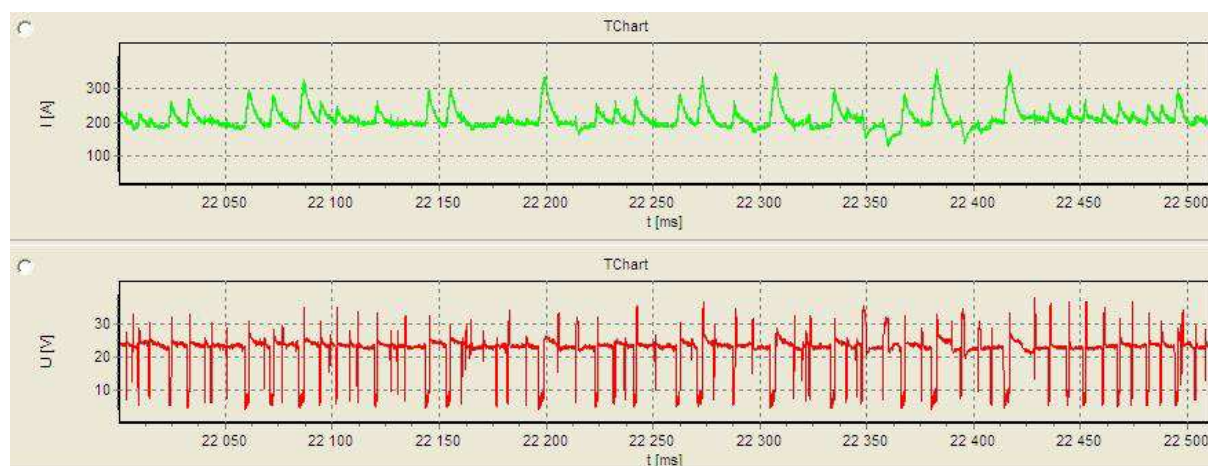
Svar	nast. svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	skutečný proud [A]	skutečná rychlost [m/min]	napětí [V]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
X4c017	180	0,2	217	0,207	22,9	9,878	3,108	22
X4c018	180	0,3	214,2	0,293	22,9	9,867	2,28	22
X4c019	180	0,4	211,7	0,397	22,8	9,863	1,874	22
X4c020	180	0,5	209,6	0,499	22,7	9,869	1,468	22
X4c021	180	0,6	206,7	0,606	22,8	9,875	1,256	22
X4c022	180	0,7	207,1	0,699	22,7	9,873	1,057	22
X4c023	180	0,8	206,1	0,795	22,7	9,883	0,937	22
X4c024	180	0,9	208,2	0,896	22,6	9,872	0,894	22

Tab. 6.8 Geometrické rozměry svarové lázně vzorků pro průměrnou rychlost podávání
svařovacího drátu 9,9 m/min (uvedené hodnoty jsou v **mm** eventuálně pro P_c , P_n , P_Δ v **mm²**).

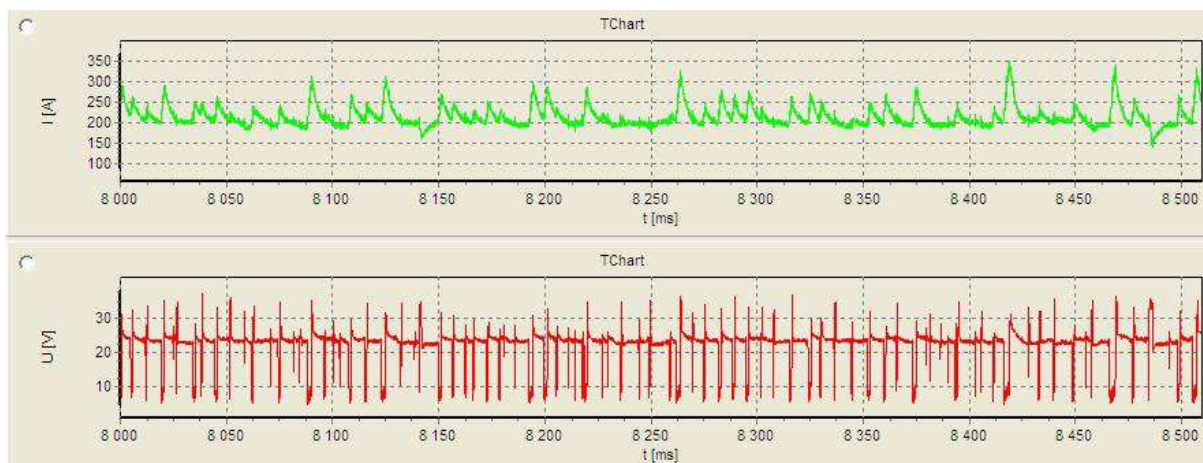
X4c017	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	6,0796	8,5370	9,8541	8,4410	0,1059	0,0000	11,8661	0,8157	0,9074	1,1214
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1583	6,8953	6,9870	44,17	133,85	134,81	54,231	36,978	0,018	
X4c018	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	4,8796	7,5694	8,9065	6,3955	0,7560	0,4348	9,9057	0,8324	1,0973	1,0967
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1090	5,7120	5,9769	40,49	126,79	134,38	40,289	24,103	2,616	
X4c019	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	4,0310	6,8094	8,0546	5,0109	1,2594	0,5147	8,4565	0,8474	0,9173	1,0346
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,0445	4,8784	4,9483	36,50	126,32	136,55	20,402	17,027	1,845	
X4c020	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,6303	5,8208	7,1761	4,6467	0,8365	0,3375	7,4598	0,9335	1,0853	1,1631
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1803	4,5638	4,7156	38,20	125,16	137,81	24,286	13,487	1,041	
X4c021	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	3,0829	5,4289	6,8000	3,7461	1,0602	0,3750	6,5889	0,9762	1,2155	1,1817
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,2060	4,0591	4,2984	35,28	122,67	140,08	20,249	10,129	0,909	
X4c022	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	2,8139	5,5050	6,4140	3,2575	1,5136	0,3721	6,4025	0,8502	0,8502	0,9547
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	0,9752	3,6641	3,6641	30,95	114,78	142,73	18,358	9,003	0,958	
X4c023	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	2,4158	5,5229	6,3339	2,7125	1,8875	0,3864	6,1219	0,9245	0,9245	1,0099
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,2128	3,3403	3,3403	25,69	108,98	145,91	15,810	7,394	0,991	
X4c024	a	b	b_{max}	c	e	p	w	z	z_{max}	x
	2,5728	4,8707	5,8006	3,0349	1,2346	0,3014	5,7565	0,9287	1,0095	1,0904
	x_{max}	v	v_{max}	α	β₁	β₂	P_c	P_Δ	P_n	
	1,1743	3,5015	3,5823	32,42	117,47	144,08	14,690	7,373	0,711	

Tab. 6.9 Určení stupně kvality jednotlivých svarů.[17]

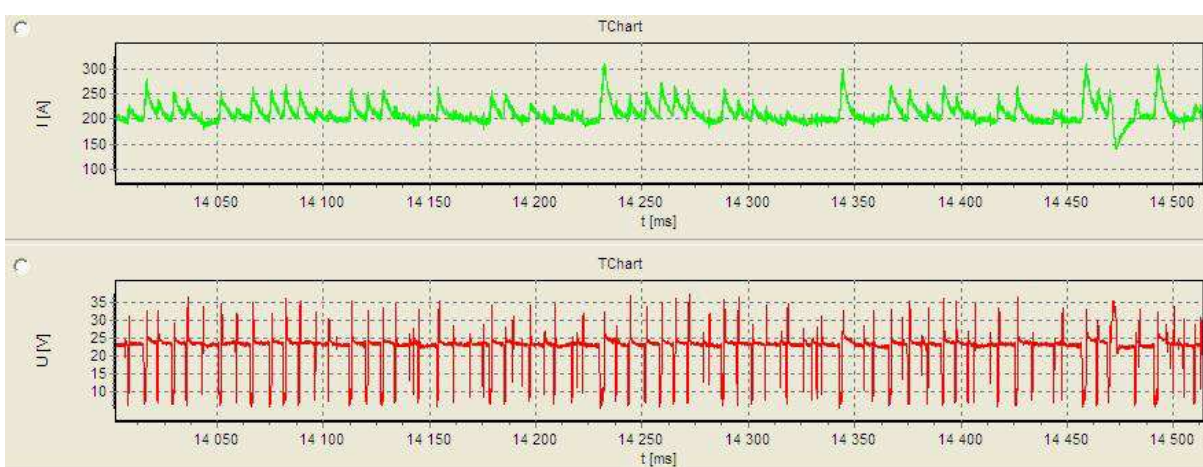
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a 1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového svaru	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
X4c017	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c018	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c019	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c020	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B
X4c021	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
X4c022	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B
X4c023	B	B	B	B	C	D	B	B	B	B	B
X4c024	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B



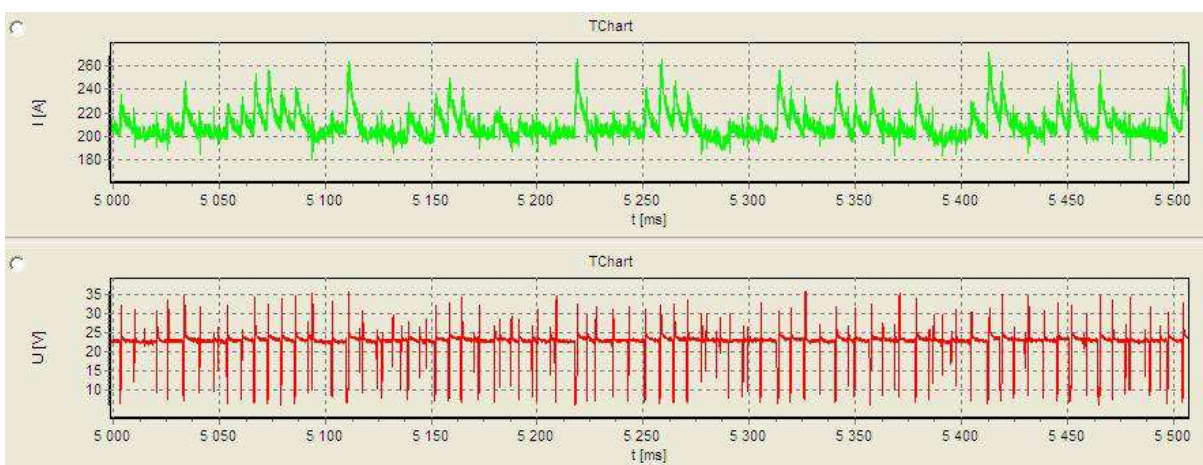
Obr. 6.28 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c017.



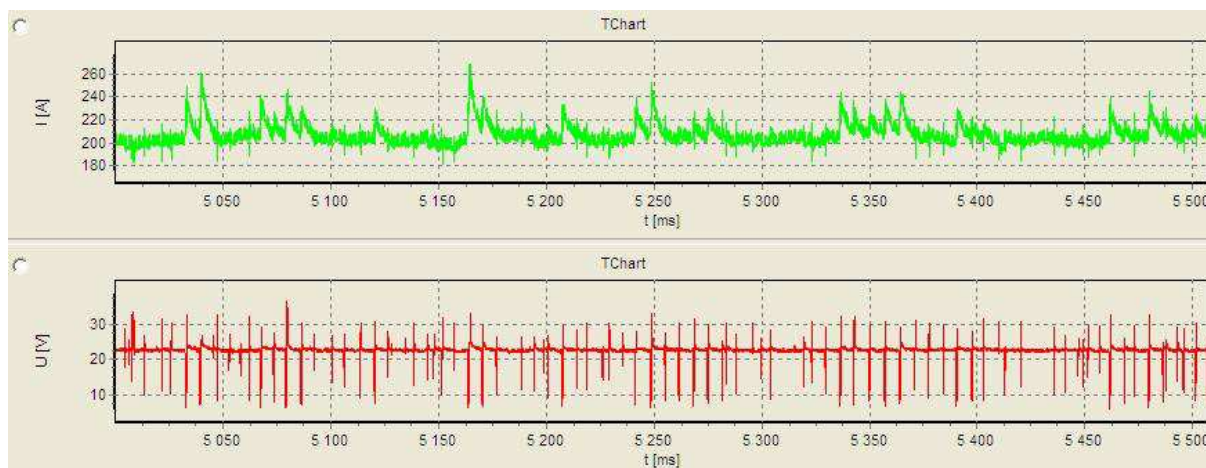
Obr. 6.29 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c018.



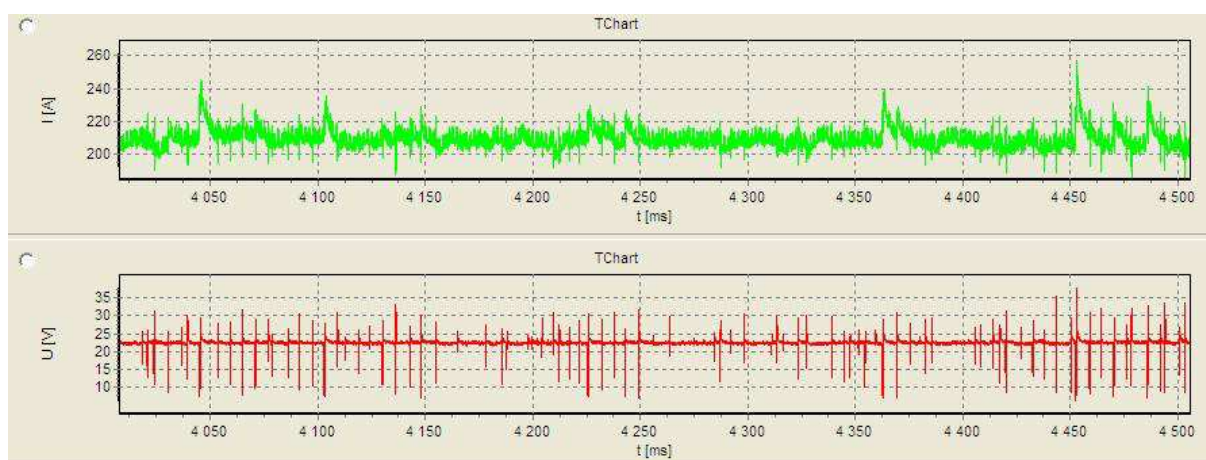
Obr. 6.30 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c019.



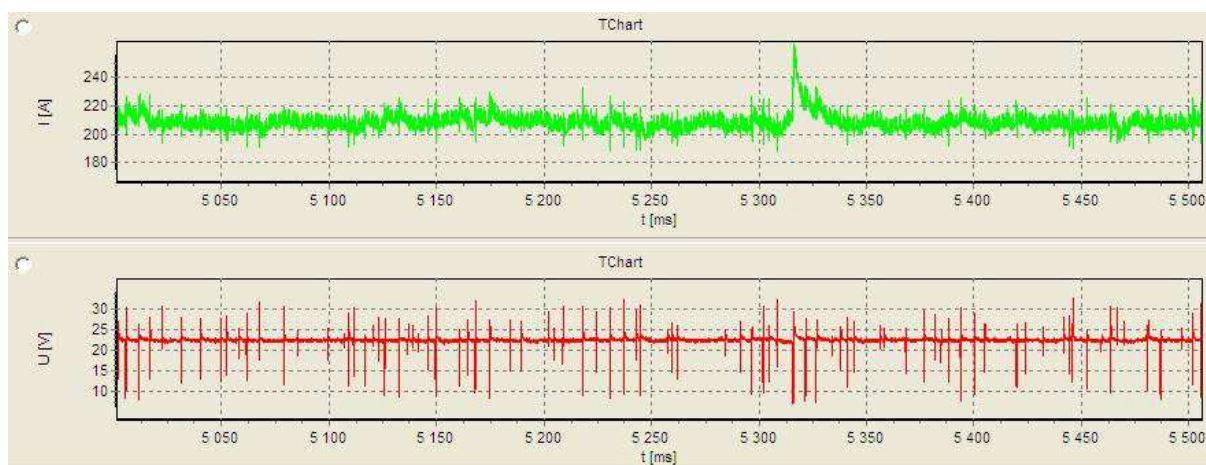
Obr. 6.31 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c020.



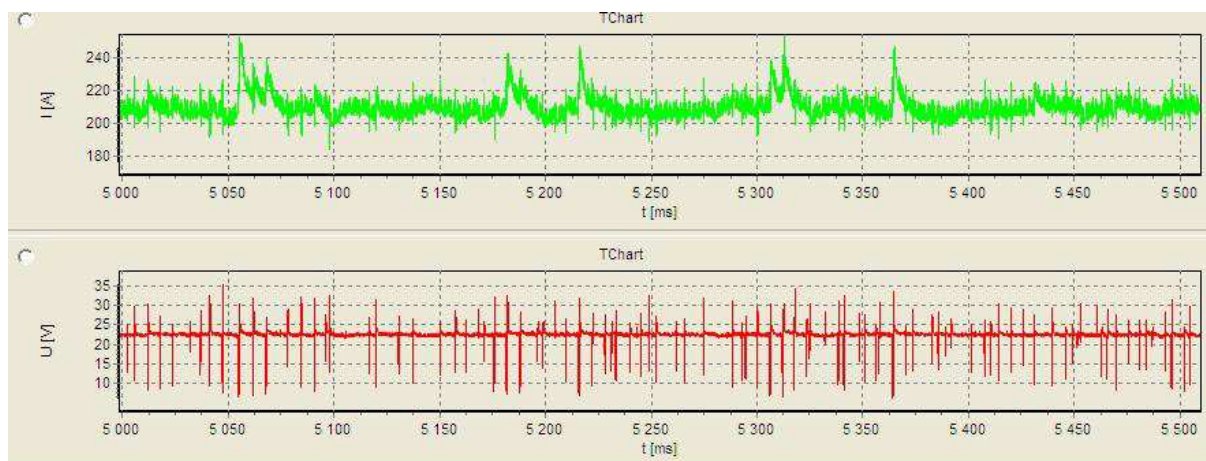
Obr. 6.32 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c021.



Obr. 6.33 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c022.

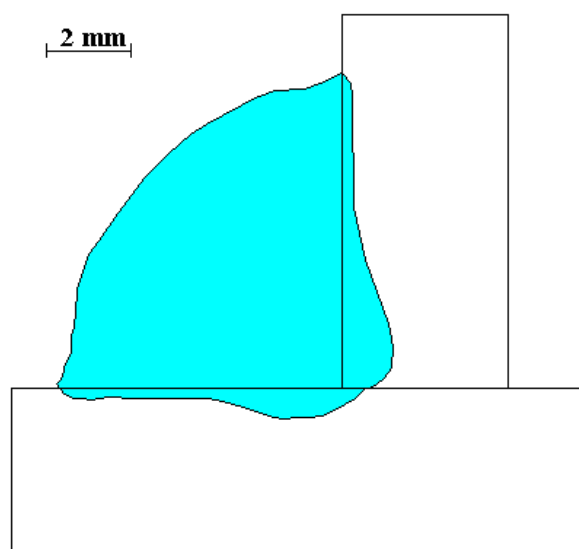


Obr. 6.34 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c023.

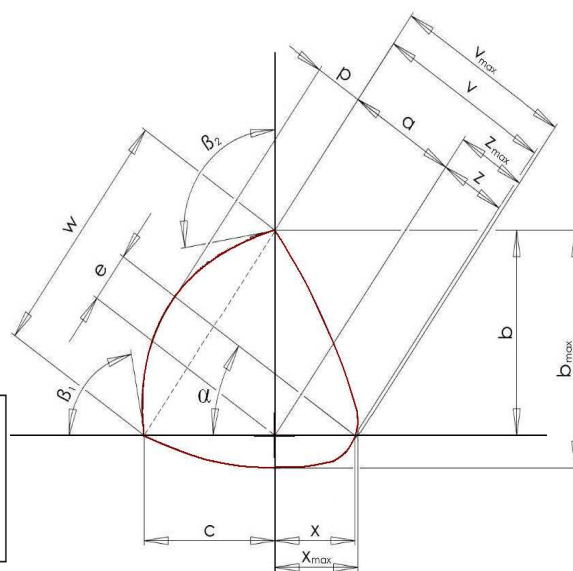


Obr. 6.35 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c024.

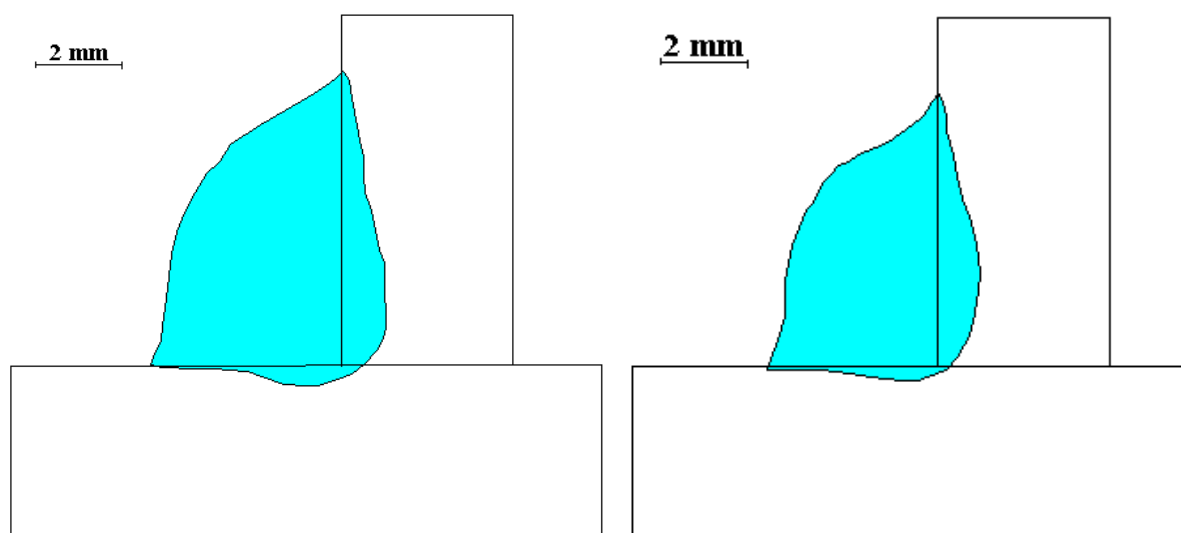
6.4. Vyhodnocení – vzorky pro průměrnou rychlost podávání drátu 8,9 m/min.



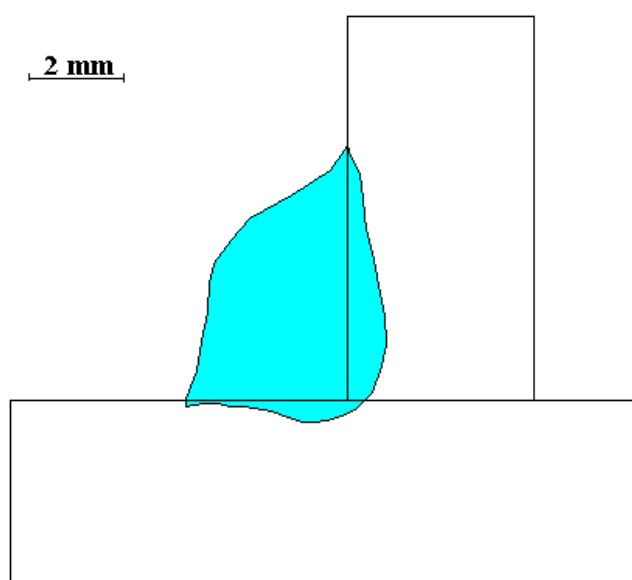
Obr. 6.36 Geometrie makrostruktury vzorku X4c025



Obr. 6.37 Měřené rozměry makrostruktury



Obr. 6.38 Geometrie makrostruktury vzorku X4c026 a vzorku X4c027



Obr. 6.39 Geometrie makrostruktury vzorku X4c028

Tab. 6.10 Svařovací parametry vzorků: X4c025, X4c026, X4c027, X4c028

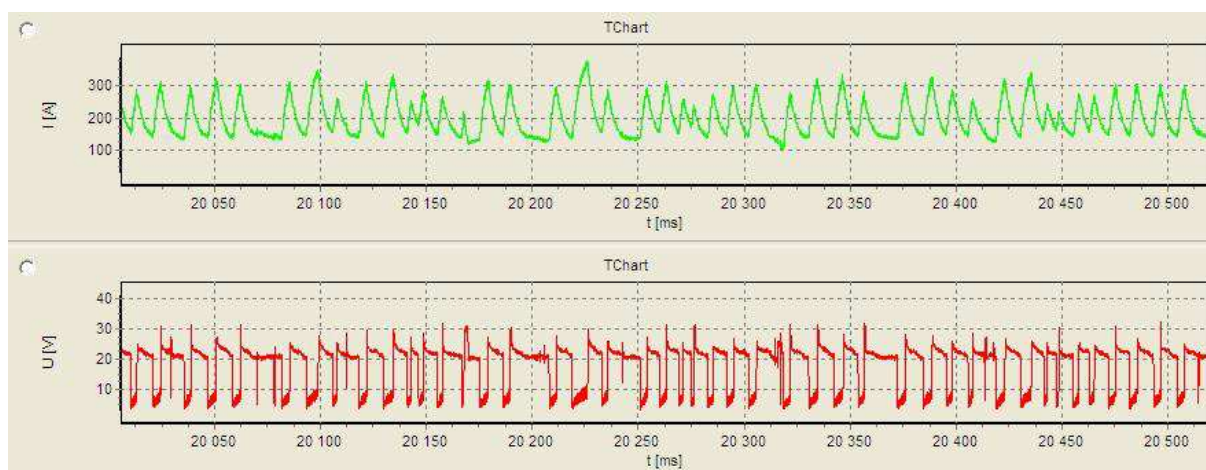
Svar	nast. svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	skutečný proud [A]	skutečná rychlost [m/min]	napětí [V]	posuv drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
X4c025	160	0,2	207,9	0,204	19,1	8,933	3,107	22
X4c026	160	0,3	200,5	0,3	19,2	8,949	2,148	22
X4c027	160	0,4	198,5	0,403	19,1	8,957	1,628	22
X4c028	160	0,5	195,2	0,503	19,1	8,954	1,258	22

Tab. 6.11 Geometrické rozměry svarové lázně vzorků pro průměrnou rychlost podávání svařovacího drátu 8,9 m/min.

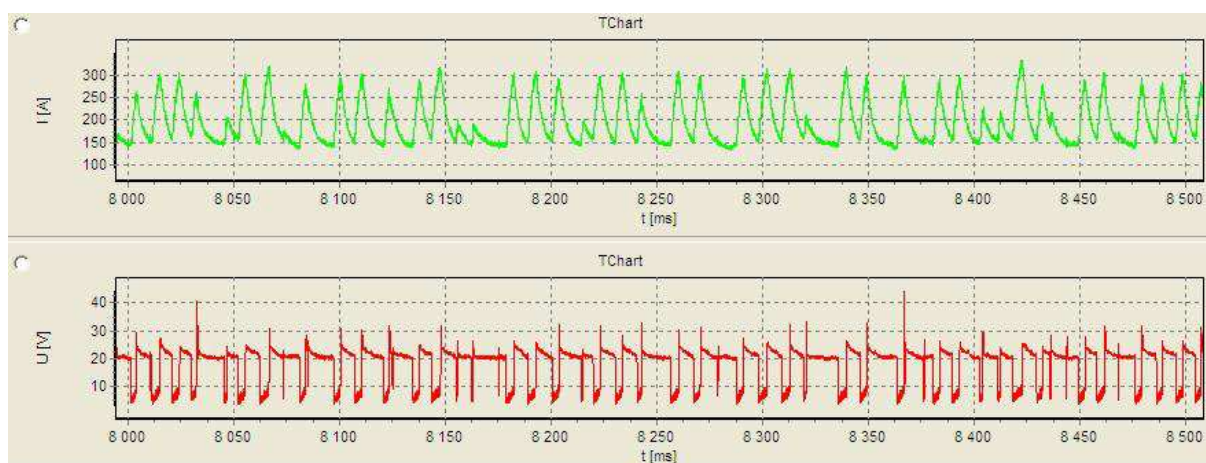
X4c025	a	b	b _{max}	c	e	p	w	z	z _{max}	x
	4,8494	7,2312	7,9333	6,5557	0,4590	1,7350	9,7626	0,5061	0,5061	0,6654
	x _{max}	v	v _{max}	α	β ₁	β ₂	P _c	P _Δ	P _n	
	1,2323	5,3555	5,3555	42,41	102,94	105,48	41,484	23,573	11,197	
X4c026	a	b	b _{max}	c	e	p	w	z	z _{max}	x
	3,7653	6,8857	7,3249	4,5136	1,6512	1,3263	8,2123	0,3277	0,4525	0,3953
	x _{max}	v	v _{max}	α	β ₁	β ₂	P _c	P _Δ	P _n	
	1,0103	4,0930	4,2178	33,10	102,97	122,25	26,942	15,375	6,230	
X4c027	a	b	b _{max}	c	e	p	w	z	z _{max}	x
	3,2822	6,2482	6,5227	3,8797	1,6163	1,1168	7,3559	0,2157	0,3053	0,2471
	x _{max}	v	v _{max}	α	β ₁	β ₂	P _c	P _Δ	P _n	
	0,9974	3,4979	3,5875	31,97	100,87	127,72	20,835	12,085	4,402	
X4c028	a	b	b _{max}	c	e	p	w	z	z _{max}	x
	2,9446	5,4404	5,9052	3,5327	1,3169	1,0482	6,4961	0,2686	0,3432	0,2989
	x _{max}	v	v _{max}	α	β ₁	β ₂	P _c	P _Δ	P _n	
	0,8428	3,2132	3,2878	33,19	104,63	126,75	16,572	9,570	3,348	

Tab. 6.12 Určení stupně kvality jednotlivých svarů.[17]

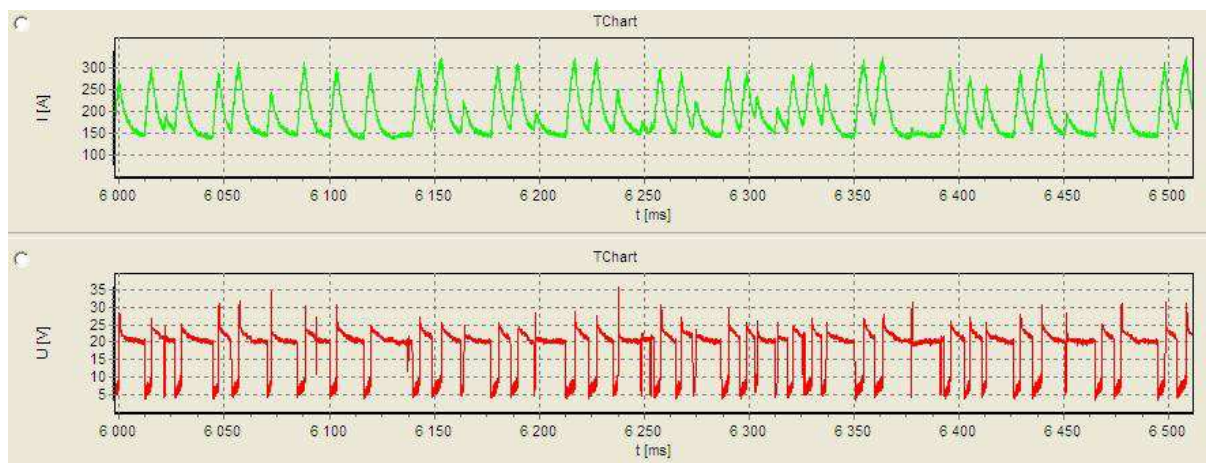
Číslo vady	1.7		1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	2.3			2.13
Referenční číslo dle ISO 6520-1	5011	5012	503	504	505	512	515	2011 a 1	2011 b	2012	402
Název vady	Souvislý zápal	Nesouvislé zápaly	Nadměrné převýšení koutového svaru	Nadměrné převýšení kořene	Strmý přechod svaru	Nadměrná asymetrie koutového svaru	Hubený kořen	Pór		Rovnoměrná pórovitost	Neprůvar
Číslo svaru	Stupeň kvality										
X4c025	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B
X4c026	B	B	B	B	C	C	B	B	B	B	B
X4c027	B	B	B	B	C	C	B	B	B	B	B
X4c028	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B



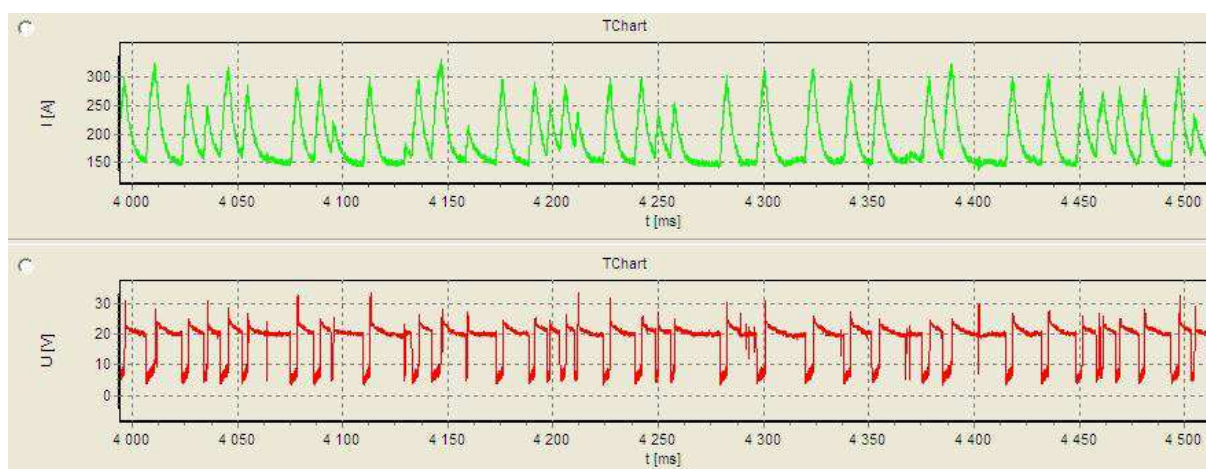
Obr. 6.40 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c025.



Obr. 6.41 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c026.



Obr. 6.42 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c027.



Obr. 6.43 Záznam z UI laboratoře programem Weld Monitor pro svar X4c028.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon
Č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských
práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si plně vědom
povinnosti informovat o této skutečnosti TU v Liberci. V tomto případě má TU v Liberci
právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich
skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě
konzultací s vedoucím bakalářské práce.

Datum: 6. 1. 2012

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact. In this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 6. 1. 2012

Signature: